

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Konetekniikka

Energia- ja Ympäristötekniikka

INSINÖÖRITYÖ

**VUOSAAREN B-VOIMALAITOKSEN LAUHDUTTIMIEN MERIVESIKANAVAAN
SIJOITETTAVAN PIENVESIVOIMALAN KANNATTAVUUSSELVITYS**

Työn tekijä: Anton Laari
Työn valvoja: Markku Jantunen
Työn ohjaaja: Raine Lampio

Työ hyväksytty: __. __. 2006

Markku Jantunen
yliopettaja

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SYMBOLILUETTELO

1 JOHDANTO	1
2 VESIVOIMALAT	2
2.1 Vesivoima Suomessa	2
2.2 Vesivoimaloiden rakenne	3
2.3 Pienvesivoimalat ja minivesivoimalat	5
2.4 Vesivoimaloiden hyviä ja huonoja ominaisuuksia	6
3 VESITURBIINIT	7
3.1 Vesiturbiinityypit ja niiden toimintaperiaate	7
3.1.1 Vesipyörä	9
3.1.2 Francis-turbiini	9
3.1.3 Kaplan-turbiini	10
3.1.4 Putkiturbiinit	11
3.1.5 Tyson-turbiini	15
3.1.6 Pelton-turbiini	16
3.1.7 Turgo-turbiini	17
3.1.8 Bank-turbiini	18
3.2 Vesiturbiinien soveltuvuus eri käyttökohteisiin	18

3.3 Vesiturbiinilaitosten sähköistys ja automaatio	22
3.3.1 Generaattorilaitteisto	22
3.3.2 Sähkönjakelulaitteisto	23
3.3.3 Ohjaus- ja säätöjärjestelmät	24
3.4 Vesiturbiinien käytännön ongelmat ja niiden vähentäminen	24
3.4.1 Kavitaatio	24
3.4.2 Värähtely	29
3.4.3 Putoushäviöt	30
3.4.4 Hiekka ja epäpuhtaudet	30
3.4.5 Veden jäätyminen	30
 4 VUOSAAREN B-VOIMALAITOS	31
4.1 Vuosaaren B-voimalaitoksen lämmön- ja sähkön yhteistuotannon toimintaperiaate lyhyesti	31
4.2 Vuosaari B:n höyryturbiini sekä lauhdeajon toimintaperiaate	32
4.3 Lauhduttimen toimintaperiaate	32
4.4 Merivesipumppujen toimintaperiaate	33
4.5 Vesivoima Vuosaarella	33
4.6 Huomioon otettavia asioita suunniteltaessa pienvesivoimalaa Vuosaareen	33
4.7 Pienvesivoimalan sähköistys ja automaatio Vuosaarella	34
 5 VESIVOIMAN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	34
5.1 Vesivoiman ympäristövaikutukset Suomessa	34
5.2 Vesivoiman ympäristövaikutukset Vuosaaren voimalaitoksella	35

5.3 Ympäristöystävällisen imagon vaikutus pienvesivoimahankkeelle	35
6 PIENVESIVOIMALAITOKSEN KUSTANNUSTEN SEKÄ KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI VUOSAARESSA	36
6.1 Turbiinivaihtoehdot	36
6.2 Eri rakennevaihtoehtojen vertailu	36
6.3 Pienvesivoimalaitokseen vaikuttavat tuet	38
6.4 Sähköpörssi sähkön hinnan määrittelijänä	39
6.5 Kannattavuuslaskelma	40
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	41
VIITELUETTELO	45
LIITTEET	52

ALKULAUSE

Haluan kiittää kaikkia henkilöitä jotka ovat auttaneet ja opastaneet työn tekemisessä. Erityisesti haluan kiittää Jari Leskistä, jonka ansiosta pääsin tekemään insinöörityötä Helsingin Energialle sekä Raine Lampiota, joka toimi työn ohjaajana. Lisäksi kiitän projektin johtoryhmää: Ari Lainetta ja Jyrki Haniojaa sekä koko muuta projektiryhmää: Matti Mattilaa (sähköistys ja automaatio), Timo Arposta (kannattavuus tarkastelut) ja Ville Kerästä (rakennustekniikka). Lisäksi haluaisin kiittää muita projektissa apuna olleita henkilöitä: Kimmo Rintamäkeä Waterpumpsilta (vesiturbiinit), Niko Korsowia (3 D-piirustukset) ja Tea Erätuulta (työn kommentointi ja tarkastus).

Helsingissä 4.9.2006

Anton Laari

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Anton Laari	
Työn nimi: Vuosaaren B-voimalaitoksen lauhduttimien merivesikanavaan sijoitettavan pienvesivoimalan kannattavuusselvitys.	
Päivämäärä: 04.09.2006	Sivumäärä: 53 + 14 liitettä
Koulutusohjelma:	Suuntautumisvaihtoehto:
Konetekniikka	Energia- ja ympäristötekniikka
Työn valvoja: Markku Jantunen, DI	
Työn ohjaaja: Raine Lampio, DI	
<p>Insinööritöiden tavoitteena oli tehdä teknis-taloudellinen selvitys pienvesivoimasta Vuosaaren B-voimalaitokselle. Ensimmäiseksi täytyi selvittää laitoksen virtausolosuhteet, putouskorkeus, saavutettavissa oleva teho, konkreettinen sijoittumiskohta laitoksessa, tarvittavat rakenteet, laitteistot, sähköistys ja ohjausjärjestelmät sekä näiden kaikkien kustannukset.</p> <p>Työn alkuosassa käsitellään vesivoimaloiden teoriaa ja niihin liittyviä yleisiä asioita. Loppuosassa tarkastellaan Vuosaaren B-voimalaitosta sekä varsinaista teknis-taloudellista selvitystyötä. Työn teoriaosuuteen tietoja hankittiin kirjallisuudesta sekä Internetistä. Varsinaisessa selvitystyössä tietojen hankkimisessa auttoivat Helsingin Energian sekä muiden yritysten asiantuntijat.</p> <p>Selvitettyjen alkuarvojen ja muiden tietojen perusteella pystyttiin lopuksi tekemään yleisarvio kannattavuudesta sekä arvio investointien kannattavuudesta. Työssä käsiteltiin seuraavia toteutettavissa olleita vaihtoehtoja: yksi turbiini, kaksi turbiinia tai ei turbiinia ollenkaan. Yhdellä turbiinilla vuotuinen käyttöaika olisi ollut laitoksen käyttötietojen perusteella noin 7500 tuntia vuodessa. Kahden turbiinin vaihtoehdossa yhtä turbiinia olisi käytetty 6000 tuntia vuodessa ja kahden turbiinin yhteiskäyttöaika olisi jäänyt vain 1500 tuntiin vuodessa.</p> <p>Näistä syistä johtuen parhaaksi ratkaisuksi muodostui yhden turbiinin vaihtoehto, jossa turbiinin käyttöaika oli optimaalinen ja investointikustannukset pysyivät kohtuullisina. Turbiinin pois jättäminen ei myöskään olisi järkevää, koska turbiinin avulla laitoksen energia tehokkuus paranisi. Selvitystyön avulla Helsingin Energia voi tehdä päätöksen pienvesivoimalaan investoimisesta, mikä selvityksen perusteella vaikuttaisi kannattavalta.</p> <p>Avainsanat: energia, pienvesivoima, talous, kustannukset, vesi, kannattavuus</p>	

FACULTY OF TECHNOLOGY

ABSTRACT

Name: Anton Laari	
Title: Feasibility Study of Small Hydropower Plant in the Condensers' Seawater Channel at Vuosaari B Power Plant.	
Date: 4 September 2006	Number of Pages: 53 + 14 attachment's
Department:	Study Programme:
Mechanical Production Engineering	Energy Engineering and Environmental Technology
Supervisor: Markku Jantunen, M.Sc.	
Instructor: Raine Lampio, M.Sc.	
<p>The purpose of this graduate study was to carry out a feasibility study of a small hydropower plant for Vuosaari B power plant. One important aim was to determine the flow conditions, height of drop, attainable power, and distinct placement in power plant, necessary structures, machinery, electrification and control systems. An equally important objective was to make a calculation of the expenses.</p> <p>This study is based on a discussion of the theory on hydro power plants. This information was acquired from current literature and the Internet. Help was also received from power plant experts at Helsinki Energy as well as other consultants in other companies. The Vuosaari B power plant and the actual econotechnical feasibility study have been introduced at the end of this study.</p> <p>The results enabled the making of an evaluation of the investment and its profitability. The options under examination were one turbine, two turbines, or no turbine at all. In the one turbine case, the annual usage of the turbine was 7000 hours per year. In the case of two turbines, one turbine would have been used for 6000 hours per year but the integrated use would have remained only at 1500 hours per year.</p> <p>These results show that the best alternative is the one turbine option where the annual usage of the turbine was considered optimal and the investment costs remained reasonable. Having no turbine at all was not a good idea either. It was neither economical nor environmental. Based on the results of this study, it would be recommendable for Helsinki Energy to invest in the small hydropower plant.</p> <p>Key words: energy, small hydropower, energy-efficiency, energy expenses, water, profitability</p>	

SYMBOLILUETTELO

P = Teho	(W)
η = Turbiinin hyötysuhde	(%)
ρ = Tiheys (veden)	(kg/m ³)
g = Putoamiskiihtyvyys	(m/s ²)
H = Putouskorkeus	(m)
q_v = Virtaus	(m ³ /s)
n_s = Ominaispyörimisnopeus	(-)
π = Ympyrän kehän suhde halkaisijaan	(3,1415926535)
n = Pyörimisnopeus	(1/min)
ω = Kulmanopeus = $2 \pi n$	(rad/s)
D = Juoksupyörän halkaisija	(m)
f = Taajuus	(1/s)
p = Napapariluku	(1, 2, 3,...)
Δp = Paine-ero	(Pa)
λ = Kitkakerroin	(%)
c_1 = Veden todellinen nopeus ennen juoksupyörää	(m/s)
c_2 = Veden todellinen nopeus juoksupyörän jälkeen	(m/s)
c_{u1} = Todellinen u_1 :n suuntainen nopeus ennen juoksupyörää	(m/s)
c_{u2} = Todellinen u_2 :n suuntainen nopeus ennen juoksupyörää	(m/s)
u_1 = Juoksupyörän kehänopeus	(m/s)

u_2 = Juoksupyörän kehänopeus	(m/s)	
w_1 = Veden suhteellinen nopeus ennen juoksupyörää	(m/s)	
w_2 = Veden suhteellinen nopeus juoksupyörän jälkeen		(m/s)
β_1 = Tuloreunan veden lähtökulma	(°)	
β_2 = Lähtöreunan veden lähtökulma	(°)	
α_1 = Tuloreunan veden tulokulma	(°)	
α_2 = Lähtöreunan veden tulokulma	(°)	
h_d = Dynaaminen imukorkeus	(m)	
η_s = Imuputken hyötysuhde	(%)	
h_s = Staattinen imukorkeus		(m)
Δh = Turbiinin dynaaminen paineen aleneminen	(Pa)	
σ_T = Thoman kavitaatiokerroin	(-)	
h_v = Veden höyrystymispaine	(Pa)	
$\Delta h'$ = Laitoksen dynaaminen paineen aleneminen	(Pa)	
h_b = Barometrinen ilmanpaine	(Pa)	
σ_L = Laitoksen kavitaatiokerroin	(-)	

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on tehdä teknis-taloudellinen selvitystyö pienvesivoimalan kannattavuudesta Vuosaaren B-voimalaitoksella. Vuosaarella on turbiinista tulevalle höyrylle kaukolämmönvaihdin kaukolämmön tuotantoa varten tai erillinen lauhdutin pelkän sähköntuotannon varalle. Kun tuotetaan sähköä sekä kaukolämpöä, lauhduttimeen pumpataan merivettä yhdellä pumpulla koko ajan laitoksen käydessä. Kun tuotetaan pelkkää sähköä eli ajetaan lauhdeajoa, niin myös toinen pumppu käynnistetään pumppaamaan vettä. Pumpuilta lauhduttimen läpi virtaava vesi menee merivesikanavaa pitkin takaisin mereen pudoten matkalla kymmenen metriä. Merivesikanavaan tutkitaan mahdollisuutta tehdä pienvesivoimala tuottamaan sähköä ja näin vähentämään pumppujen käyttökustannuksia. Pumppujen käyttömäärän vähentäminen ei onnistu, koska lauhduttimien säilöntä on teknisesti vaikeaa ilman vesikiertoa sekä vikatilanteessa tulistettu höyry voidaan ohjata lauhduttimeen; näin ollen pumppujen seisominen ja energian säästäminen tällä tavalla on pois suljettu vaihtoehto.

Insinööriyössä keskitytään pelkästään teknis-taloudelliseen selvitystyöhön, projektin konkreettinen toteutus jää insinööriyön ulkopuolelle.

Työn alkuosassa käsitellään lähinnä vesivoimalaitoksia, turbiineita sekä kaikkea niihin liittyvää yleisellä tasolla. Loppuosassa käsitellään Vuosaaren B-voimalaitosta, varsinaista suunnittelutyötä sekä kustannusarviointia Vuosaaren voimalaitoksella. Lisäksi kiinnitetään huomiota pienvesivoimahankkeen ympäristönäkökohtiin sekä mahdollisen ympäristöystävällisen imagon vaikutuksiin.

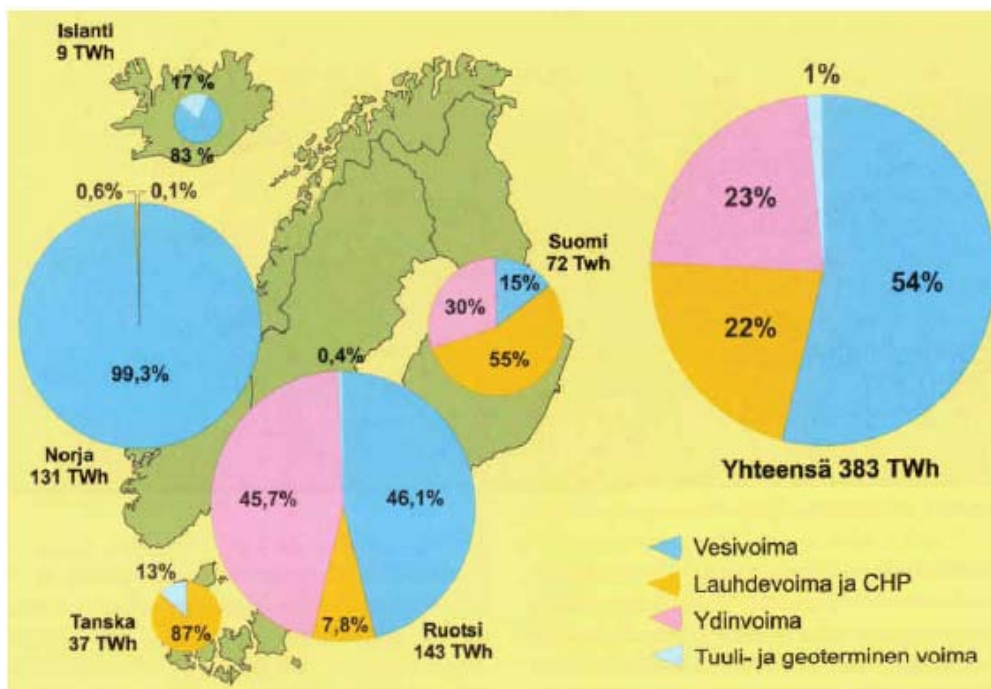
Aihealuetta on jouduttu rajaamaan aiheen laajuuden vuoksi ja työ käsittelee vesivoimaa pääasiassa Suomessa ja Suomen olosuhteissa. Tämän lisäksi tekniikkaa sekä muita asioita on pyritty tarkastelemaan pääasiassa pienvesivoiman näkökulmasta. Työssä ei huomioida mahdollisten ympäristölupien hakuprosesseja tai niiden aiheuttamaa vaikutusta työlle.

2 VESIVOIMALAT

2.1 Vesivoima Suomessa

Vesivoimaa on hyödynnetty Suomessa 1300-luvun alusta saakka eri tarkoituksiin, kuten sahoihin, myllyihin, höyliin ja muihin käyttökohteisiin, tällaisissa kohteissa käytettiin pääasiassa erilaisia vesipyöriä. Ensimmäinen vesivoimalla toimiva sähkölaitos valmistui 22. syyskuuta 1891 Tampereelle. [1.] Varsinainen koskien valjastaminen vesivoima tuotantoon alkoi vasta 1950 - 1960-luvulla, jolloin sotien jälkeiset sotakorvaukset ajoivat Suomen energiantuotannon rajuun kasvuun. Tämän seurauksena pohjoisen jokia ruvettiin patoamaan ja sinne ruvettiin rakentamaan vesivoimaloita.

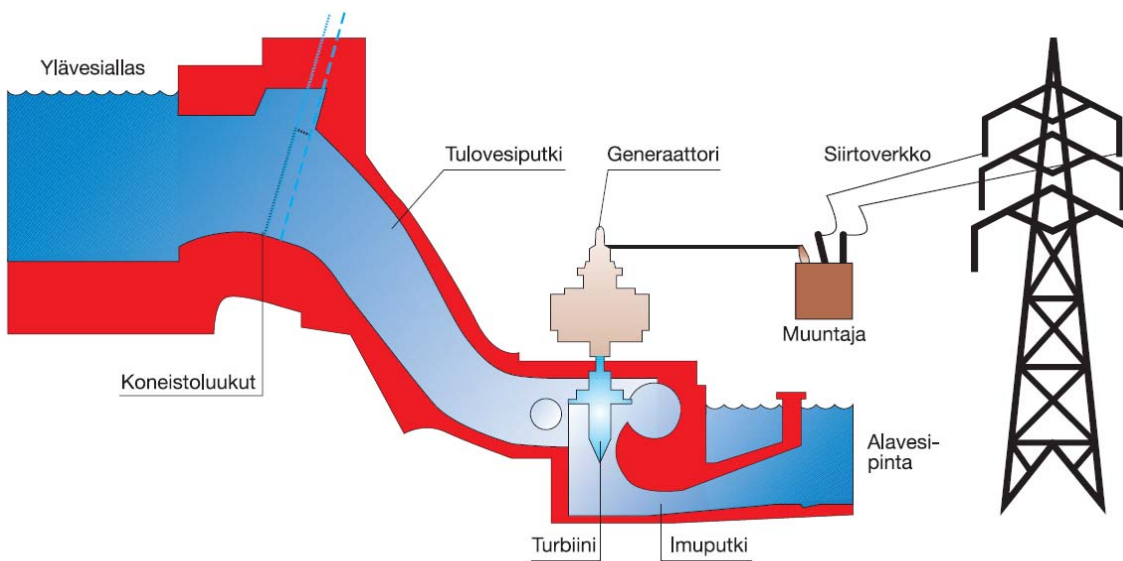
Suomen koko pinta-alasta on lähes 10 % veden peitossa, mutta silti tarkasteltaessa vesistöjen merkitystä voimalaitoksien kannalta on Suomi heikommassa asemassa verrattuna naapurimaihin. Ruotsissa vesivoimalla tuotetun sähkön osuus on noin 45 % ja Norjassa vesivoiman osuus sähköntuotannosta on jopa 99 %. Kuvassa 1 vertaillaan pohjoismaissa vuonna 2002 tuotettujen erilaisien energiantuotantomuotojen vuotuisia tuotantomääriä. Suomessa keskisadanta on varsin alhainen, maaston korkeuserot ovat pieniä ja järvet matalia, jolloin säännösteltävyys on huono. Näin ollen Suomen olot eivät sovellu kovin hyvin vesivoiman hyödyntämiseen, verrattuna muihin pohjoismaihin. Vesivoiman osuus kaikesta sähköntuotannosta Suomessa, on noin 10 - 20 % riippuen vuotuisista sademääristä. Vuonna 2004 Suomen vesivoimalla tuotetun sähkön osuus oli 17 % koko sähköntuotannosta. Vesivoiman tuotanto on kuitenkin hyvin merkittävää, vaikka prosentuaalisesti tuotanto ei ole kovin suurta, koska vesivoiman avulla on helppo säätää verkon taajuutta, joka Suomessa on 50 Hz. Vesivoimaa käytetäänkin sähkön tuotannon lisäksi verkon taajuuden tasaamiseen, mitä kutsutaan säätösähköksi. Lisäksi vesivoimalla tuotetun sähkön osuus ei aiheuta hiilidioksidipäästöjä, toisin sanottuna mikäli vesivoimaa ei olisi, niin sen osuus jouduttaisiin todennäköisesti korvaamaan jollakin muulla energiantuotantomuodolla.



Kuva 1. Sähköenergian tuotanto Pohjoismaissa vuonna 2002 [2, s.195].

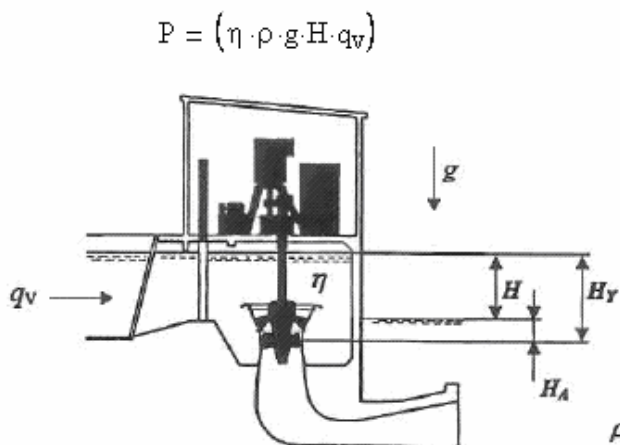
2.2 Vesivoimaloiden rakenne

Vesivoimaloiden rakenne on yleisesti hyvin samankaltainen riippumatta laitoksen koosta. Yleensä voimaloiden rakenteeseen vaikuttaa eniten voimalaitoksessa käytettävä turbiinityyppi ja ympäröivä maasto. Suomessa vesivoimalat ovat pääasiassa patolaitoksia (kuva 2), missä vettä padotaan voimalan ”yläpuolelle” ylävesialtaaseen. Tämän jälkeen yläpuolella olevaa vettä lasketaan padon läpi hyödyntäen veden korkeuseroa jolloin potentiaalienergia muuttuu veden liike-energiaksi, joka taas muuttuu pyörimisliike-energiaksi mennessään turbiinin läpi. Turbiini pyörittää generaattoria joka pyöriessään muuntaa mekaanista energiaa sähköksi. Muunlaisia konstruktioita tietysti on olemassa, ja Vuosaarenkin suunniteltava pienvesivoimala on erilainen rakenteeltaan kuin peruspatolaitos, mutta kaikissa laitoksissa perustoimintaperiaatteena on kuitenkin mekaanisen pyörimisliike-energian muuttaminen sähköiseksi energiaksi.



Kuva 2. Vesivoimalaitoksen toimintaperiaate [3].

Erityisen tärkeää varsinkin voimalaitosta suunniteltaessa olisi tietää, minkä verran hyödynnettävää sähkötehoa olisi mahdollisesti saatavissa sekä minkälainen tai minkälaiset turbiinit soveltuisivat parhaiten mihinkin käyttökohteeseen. Selvittämällä saatavissa oleva teho kuvan 3 laskukaavalla voidaan arvioida vesivoimalaitoksen kannattavuutta sekä valita sopivin turbiiniratkaisu. Vesivoimalan toimintaan ja sen kannattavuuteen vaikuttavat oleellisesti putouskorkeus, veden virtauksen määrä, investoinnin suuruus sekä sähkön hinta. Luonnontilassa olevien patolaitosten kannattavuuteen vaikuttaa oleellisesti myös vuotuiset sademäärät ja tästä aiheutuva ylävesialtaan säännöstely.



Kuva 3. Turbiinin tehon laskentakaava [4, s. 103].

Alla on esimerkki laskelma tehon laskemiseksi, jossa on käytetty Vuosaaren suunniteltavan turbiinin/turbiinien lähtötietoja.

Taulukko 1. Saatavissa olevan tehon laskelma Vuosaaren B-voimalaitoksella.

$$P = \eta \times \rho \times g \times H \times q_v \quad [4, \text{s. } 103]$$

Vesiturbiinin teho	P =	?	W
Hyötysuhde	η =	0,842	%
Veden tiheys	ρ =	1000	kg / m ³ (Veden lämpötilan ollessa 4 C°)
Maan vetovoiman aiheuttama putoamiskiihtyvyys	g =	9,82	m / s ²
Putouskorkeus	H =	10	m
Arvioitu rakennuspiirroksista (LIITE 4.)			
Virtaama			
"yhdellä pumpulla"	q_{v1} =	3,17	m ³ / s
tai			
"kahdella pumpulla"	q_{v2} =	6,34	m ³ / s
Yhdellä pumpulla turbiinin teho olisi:	P_1 =	262110	W
Kahdella pumpulla turbiinin teho olisi:	P_2 =	524219	W
262110	W →	262,11 kW →	0,262 MW
524219	W →	524,22 kW →	0,524 MW

2.3 Pienvesivoimalat ja minivesivoimalat

Pienvesivoimalat ja minivesivoimalat ovat rakenteeltaan aivan samanlaisia kuin suuremmatkin vesivoimalaitokset. Luokittelu tehdään lähinnä tuotettavan tehon perusteella:

- suuvesivoimalaitos: yli 10 MW
- pienvesivoimalaitos: 1 - 10 MW

- minivesivoimalaitos: alle 1 MW
- mikrovesivoimalaitos: alle 0,1 MW eli 100 kW. [5]

Tarkasti laitostukokoja määriteltäessä Vuosaareenkin suunnitellaan minivesivoimalaitosta, mutta yleisesti minivesivoimaloista ja mikrovesivoimaloista käytetään pienvesivoimala nimitystä. Tavallisesti luokittelu tehdään kaksijakoisesti niin että laitokset jaetaan kahteen ryhmään: suurvesivoimalaitokset, jotka käsittävät suuremmat laitokset, sekä pienvesivoimalaitokset, joihin kuuluvat pienemmät laitokset. Mikro-, mini- ja pienvesivoimaloita on Suomessa noin 200, ja niiden tuotantokapasiteetti on noin 200 MW. Kaikkien Suomen vesivoimaloiden tuotantokapasiteetti on noin 2800 MW, joten pienvesivoiman osuus koko vesivoiman tuotannosta jää alle 10 %:n. [6.]

2.4 Vesivoimaloiden hyviä ja huonoja ominaisuuksia

Vesivoimaloissa on käytännössä katsoen hyviä ja huonoja ominaisuuksia.

Hyvinä ominaisuuksina voidaan pitää seuraavia:

- Laitosten hyötysuhde on korkea.
- Laitosten käyttövarmuus on luotettava.
- Tekniikka, on pitkällä aikajaksolla todettu toimivaksi ja varmaksi.
- Vesi on uusiutuva luonnonvara.
- Käyttökustannukset ovat alhaiset sekä huollot vähäisiä.
- Laitteistot ovat pitkäikäisiä.
- Vesivoima ei aiheuta ympäristöön CO₂,- SO_x,- eikä NO_x - päästöjä.
- Laitokset ovat nopeita käynnistää ja kuormituksen säätäminen on helppoa.

Huonoina ominaisuuksina voidaan pitää seuraavia:

- Vesivoimaloiden toiminta on hyvin riippuvaista sääolosuhteista.

- Pienissä laitoksissa korkeat investointikustannukset saattavat tehdä laitoksien rakentamisen kannattamattomiksi. (Myös muiden pienten voimaloiden kuin pienten vesivoimalaitosten ongelma.)
- Voimaloissa voi olla maisemaa pilaavia tekijöitä.
- Laitoksen rakentaminen aiheuttaa päästöjä.
- Vesistön vedenpinta vaihtelee.
- Ekologinen tasapaino järkkyy pinnanvaihtelun takia.
- Vaelluskalojen vaellusreitit häiriintyvät.
- Laitokset sijaitsevat yleensä kaukana taajamista.
- Pienissä voimalaitoksissa syntyy putoushäviöitä jotka aiheutuvat liian ahtaista veden kulkureiteistä, jolloin vesi ei pääse virtaamaan vapaasti ilman ”ahdistusta”. Tämä ahdistus aiheuttaa tehon heikkenemistä. [11, s. 7.]

3 VESITURBIINIT

3.1 Vesiturbiinityypit ja niiden toimintaperiaate

Vesiturbiinityyppejä on monia erilaisia, mutta niissä kaikissa perusidea on sama, eli kuten aiemmin on mainittu, niin turbiini pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä. Turbiinit voidaan jaotella kahteen luokkaan: reaktioturbiinit ja aktioturbiinit. Aktioturbiinien toiminta perustuu siihen, että vesi ohjataan yleensä suihkuttamalla siipipyörän siipiin, minkä johdosta siipipyörä rupeaa pyörimään. Reaktioturbiini taas toimii siten, että ohi virtaava vesi pyörittää siipipyörää ohittaessaan turbiinin. Reaktioturbiinit ja aktioturbiinit eroavat käytännössä toisistaan kaiken muun lisäksi siten että aktioturbiineissa ei juuri esiinny kavitointia (kavitaatio selitetään tarkemmin luvussa 3.4.1), mistä johtuen putouskorkeus on ”rajoittamaton”. Reaktioturbiineissa kavitaatio taas on yksi eniten ongelmia aiheuttavista tekijöistä, mikä asettaa omat rajoitukset putouskorkeudelle. Taulukossa 2 on vertailtu aktioturbiinien ja reaktioturbiinien optimaalisia toiminta-alueita, ja siitä näkee hyvin turbiini mallien jaottelun korkeisiin ja mataliin putouskorkeuksiin tarkoitettuihin tyyppeihin.

Taulukko 2. Aktio- ja reaktioturbiinien optimaalisista toiminta-alueista eri putousskorkeuksilla [8].

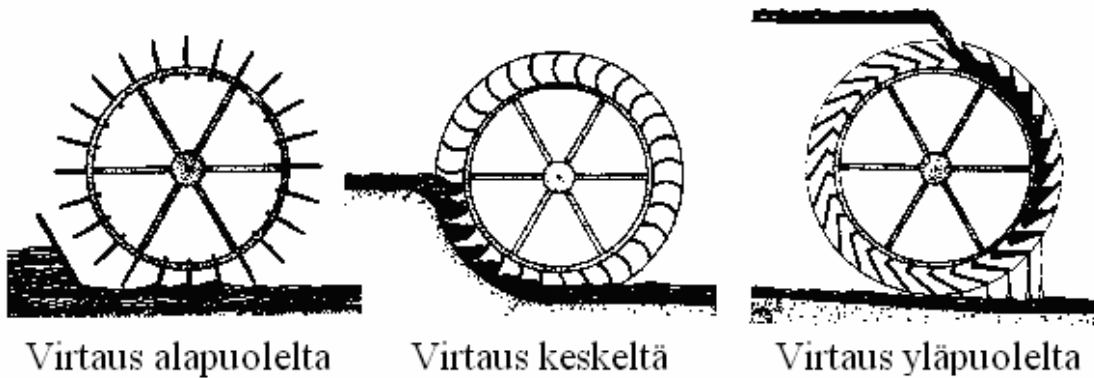
Putousskorkeus	Korkea (>50 m)	Keskikokoinen (10 – 50 m)	Matala (<10 m)
Aktioturbiinit:	Pelton	Crossflow	Crossflow
	Turgo	Turgo	
	Multi-jet Pelton	Multi-jet Pelton	
Reaktioturbiini:			Francis (avoinkammio)
		Francis (spiraali)	Potkuri
			Kaplan

Seuraavaksi käsitellään yleisimpiä turbiinimalleja ja niiden toimintaperiaatteita havainnollistavin kuvin. Perusmallisia turbiineita on periaatteessa kolmea eri mallia; Francis-malliset turbiinit, Kaplan-malliset potkuri- ja vesisuihkutuksella toimivat reaktioturbiinit. Kaikki muut turbiinimallit ovat periaatteessa näiden mallien variaatioita. Kaikkia eri turbiinimalleja ei kuitenkaan niiden suuren määrän vuoksi voida käsitellä, joten tarkoituksena on esitellä yleisimmin käytettyjä perusmalleja, joista muunnelmakin on tehty. Pääasiassa turbiinit on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, mutta tietysti muitakin ruostumattomia metalleja voidaan käyttää. Turbiinien fyysinen koko vaihtelee noin yhdestä metristä jopa kymmeneen metriin ja näin ollen suurimmissa laitoksissa puhutaankin todella massiivisista elementeistä. Turbiineiden pääraakenneosat vaihtelevat suuresti turbiinimallin mukaan riippuen siitä, onko kyseessä Francis-, Kaplan-, vai joku aktioturbiineista. Mutta yleensä jokaisessa turbiinissa on jonkunlainen siivistö, joka ottaa veden energian vastaan, sekä generaattori, jolla mekaaninen energia saadaan sähköiseen muotoon.

3.1.1 Vesipyörä

Vesipyörät ovat ensimmäisiä veden hyödyntämiskeinoja, joilla veden virtaus on saatu valjastettua hyötykäyttöön. Vesipyöriä on yleensä käytetty myllyinä tai joinakin muina mekaanisen työn korvaajina eikä niinkään sähköntuotannossa. Tämä johtuu myös pitkälti siitä, että silloin kun vesipyörät olivat yleisempiä, ei sähköä vielä ollut keksitty. Nykyään vesipyöriä on valjastettu sähköntuotantoonkin, mutta yleensä vesipyörät sijaitsevat virtaukseltaan pienissä koskissa tms. ja tästä johtuen vesipyörien tehot jäävät hyvin pieniksi. Näistä yksinkertaisista vesipyörä malleista (kuva 4) on kuitenkin muiden

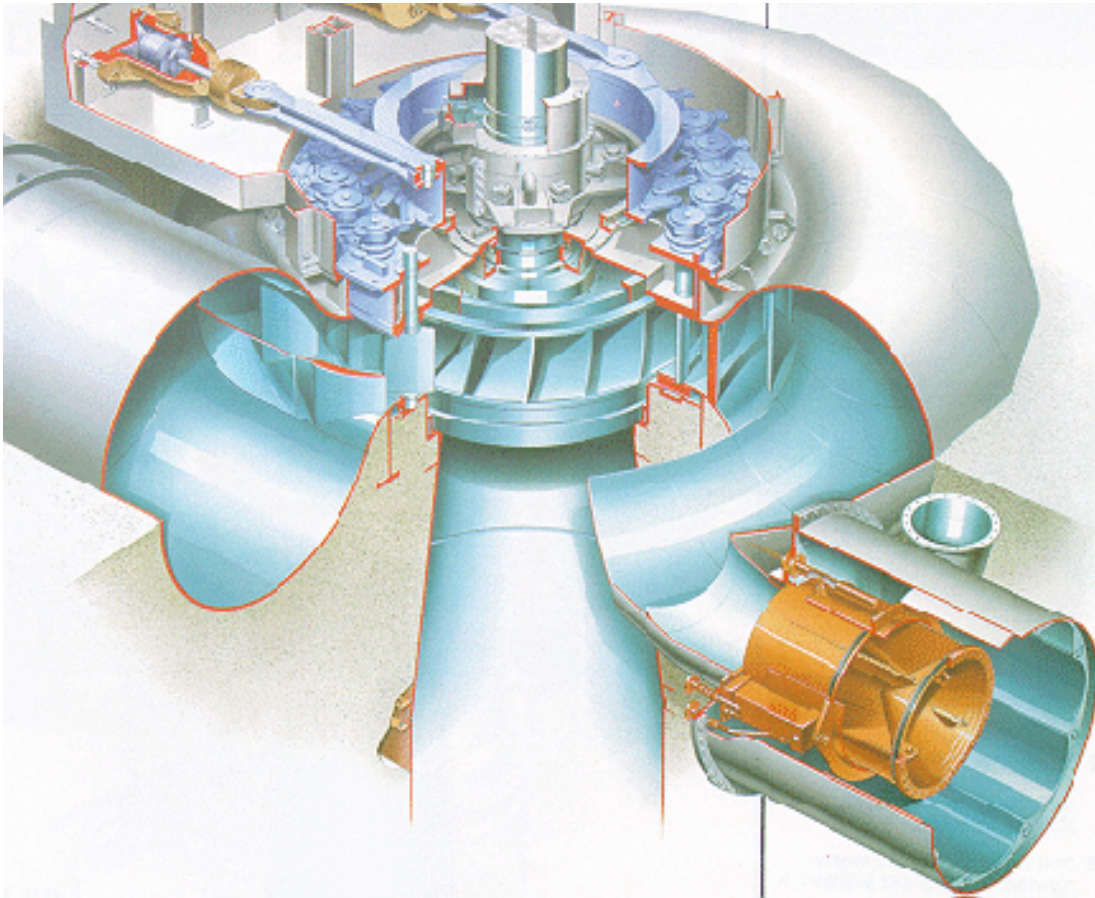
turbiinimallien kehitys lähtenyt eteenpäin. Uusista turbiinimalleista Bank turbiinin toimintaperiaate on lähimpänä vesipyörän toimintaperiaatetta.



Kuva 4. Erilaisten vesipyörän toimintaperiaatteet [9].

3.1.2 Francis-turbiini

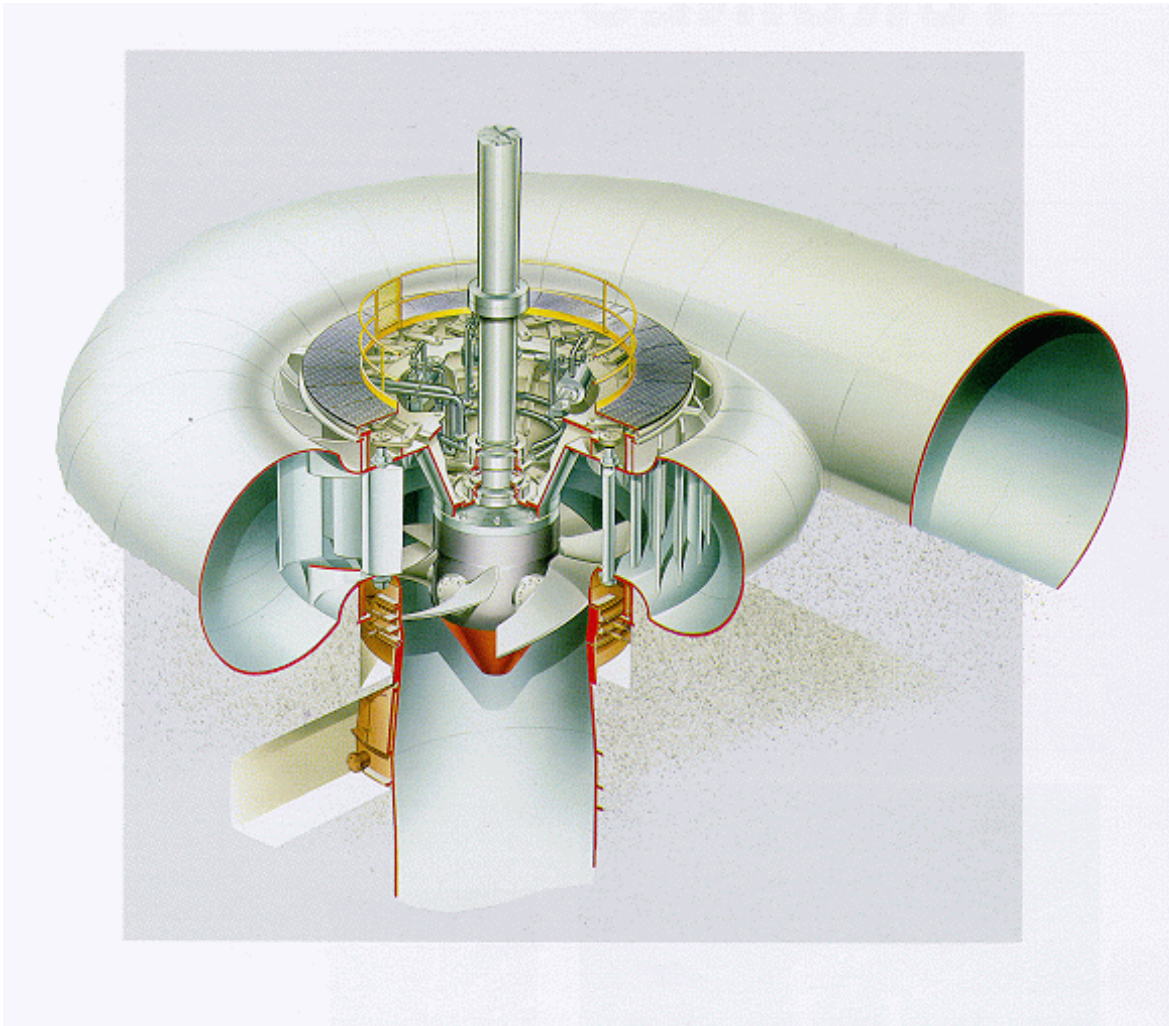
Francis-turbiini on yksi Suomen yleisimpiä turbiinimalleja etenkin vanhoissa vesivoimalaitoksissa. Francis-turbiinit ovat yleensä pystyakselisia mutta voivat olla myös vaaka-akselisia. Kuvassa 5 on esitetty Francis-turbiinin toimintaperiaate, jossa vesi tulee putkesta sisään ja kiertyy turbiinin siipien ohitse jatkaen matkaansa poistopuolelta ulos. Francis-turbiinissa potkurin siivet ovat kiinteät ja tehoa säädellään ainoastaan johtosiipien avulla. [4, s. 107.]



Kuva 5. Francis-turbiinin rakennekuva [10].

3.1.3 Kaplan-turbiini

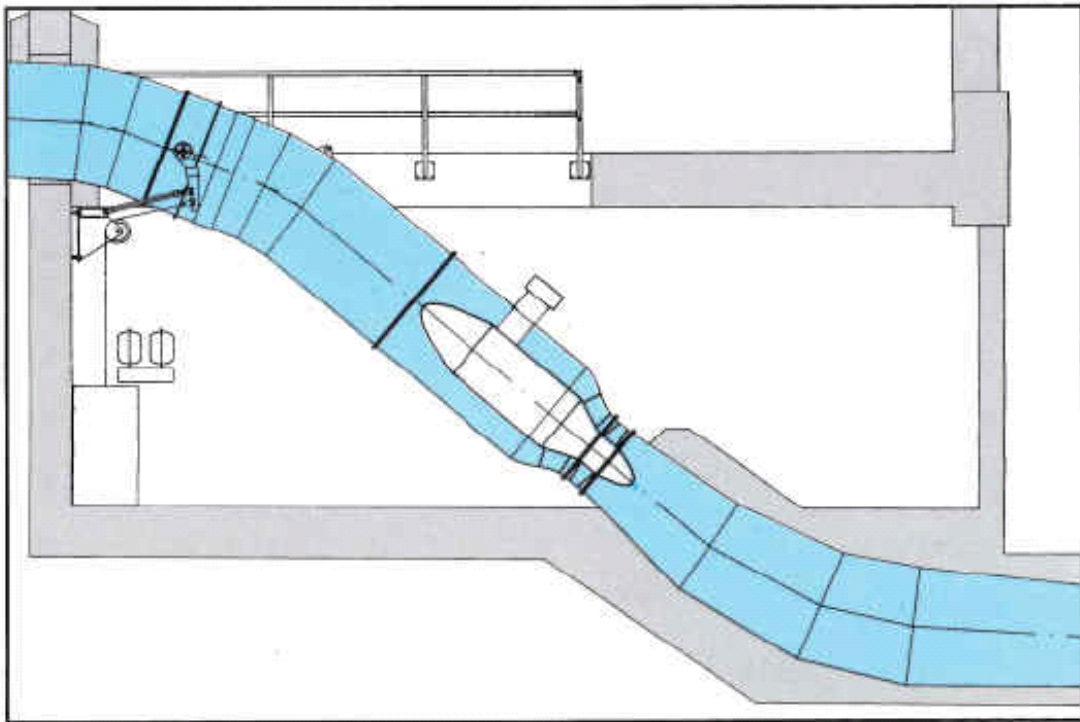
Kaplan-turbiinin (kuva 6) suurimmat eroavaisuudet Francis-turbiinin verrattuna ovat radiaalisuunnassa oleva potkuri, jossa on säädettävät siivet. Myös johtosiivet ovat säädettävät, jolloin veden virtausta ja määrää voidaan säädellä enemmän, mistä johtuen käyttöalue saadaan laajaksi. Kaplan-turbiinin rakenne on melko paljon monimutkaisempi kuin esimerkiksi Francis-turbiinissa, mikä vaikuttaa turbiinin hankintahintaan. Toisaalta Kaplan-turbiinin etuna voidaan pitää sen laajaa veden virtauksen säätövaraa hyötysuhteen kuitenkin säilyessä hyvänä. [4, s. 109.]



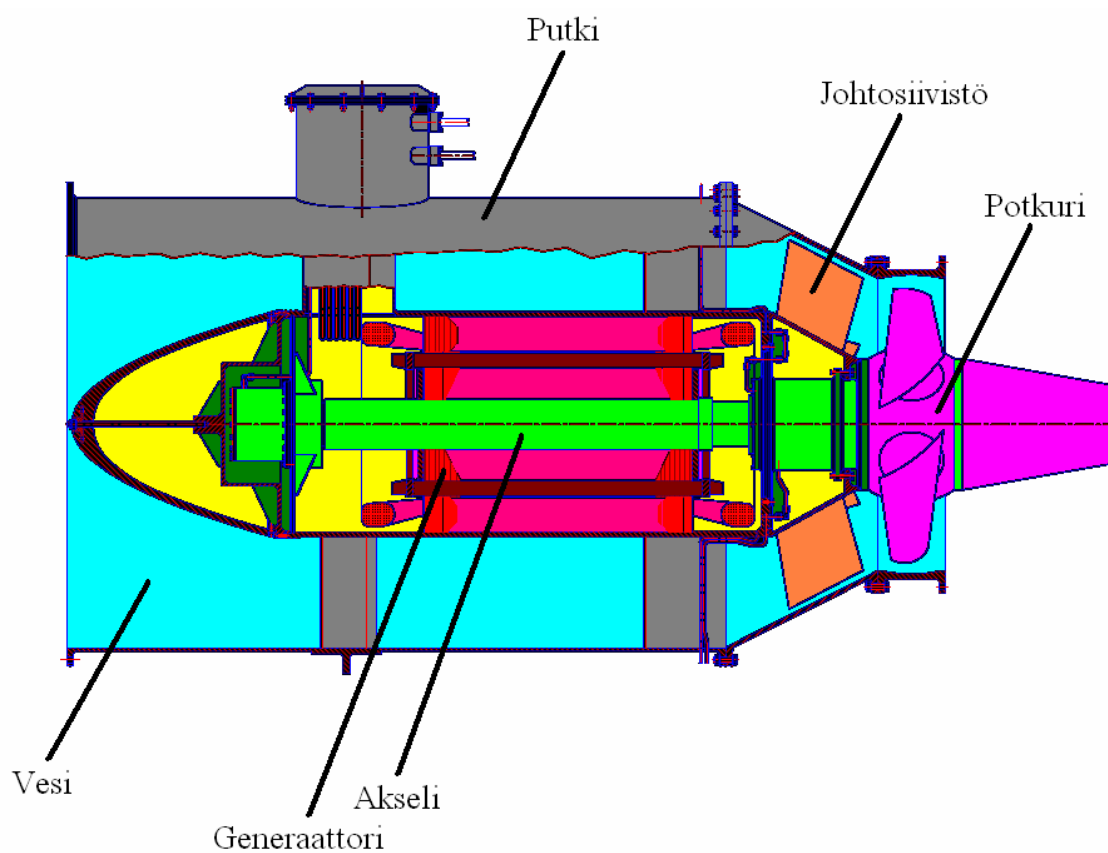
Kuva 6. Kaplan-turbiinin rakennekuva [11].

3.1.4 Putkiturbiinit

Putkiturbiinit ovat yleensä juoksupyörän rakenteelta potkurimallisia, kiinteillä tai säädettävillä siivillä. Putkiturbiinit ovat yleensä turbiinigeneraattorikokonaisuuksia, missä koko paketti on sijoitettu kuorien sisälle putkeen, kuten kuvassa 7. Erilaisissa putkiturbiineissa on myös etuna että laitos voi sijaita kauempana padosta koska vesi voidaan helposti ohjata putkea pitkin eteenpäin turbiinille tai turbiineille. Putkiturbiineja joissa johtosiivet ovat kiinteät ja juoksupyörän siivet kääntyvät, kutsutaan puolikaplaneiksi. Kuvassa 8 on lueteltu Waterpumpsin putkiturbiinin päärakenteet.

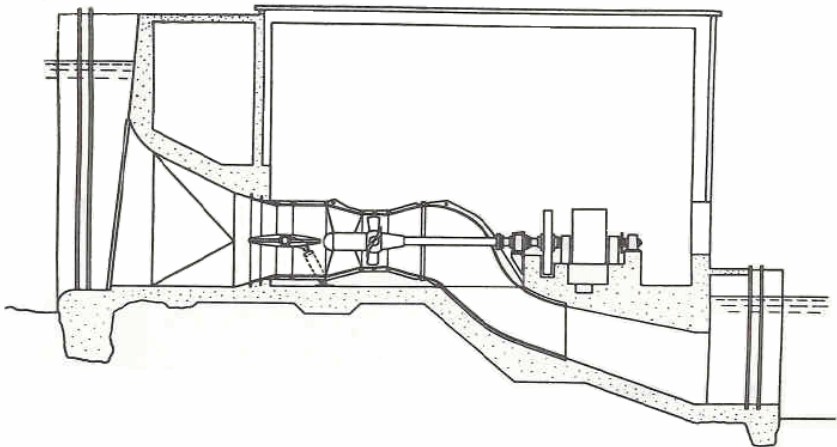


Kuva 7. Putkiturbiinin sijoitus laitoksessa [12].



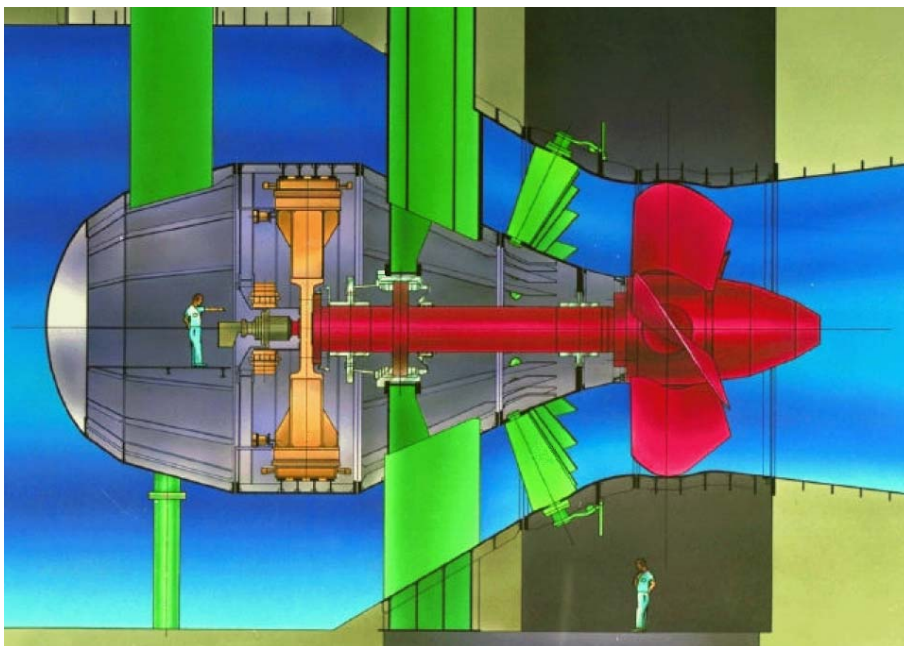
Kuva 8. Putkiturbiinin rakennekuva [13].

S-turbiini on myös eräs putkiturbiinimalli, jonka nimi tulee siitä että generaattori on siirretty akselin välityksellä ulos vesikanavasta, tästä johtuen putki joutuu kiertämään generaattorin, jolloin putki jää s-muotoon (kuva 9). Näin meneteltäessä vesikanavaan saadaan lisää virtaustilaa vedelle, mutta tämän seurauksena generaattori vaatii ulkoista tilaa enemmän kuin generaattori mikä olisi sijoitettu putken sisälle.



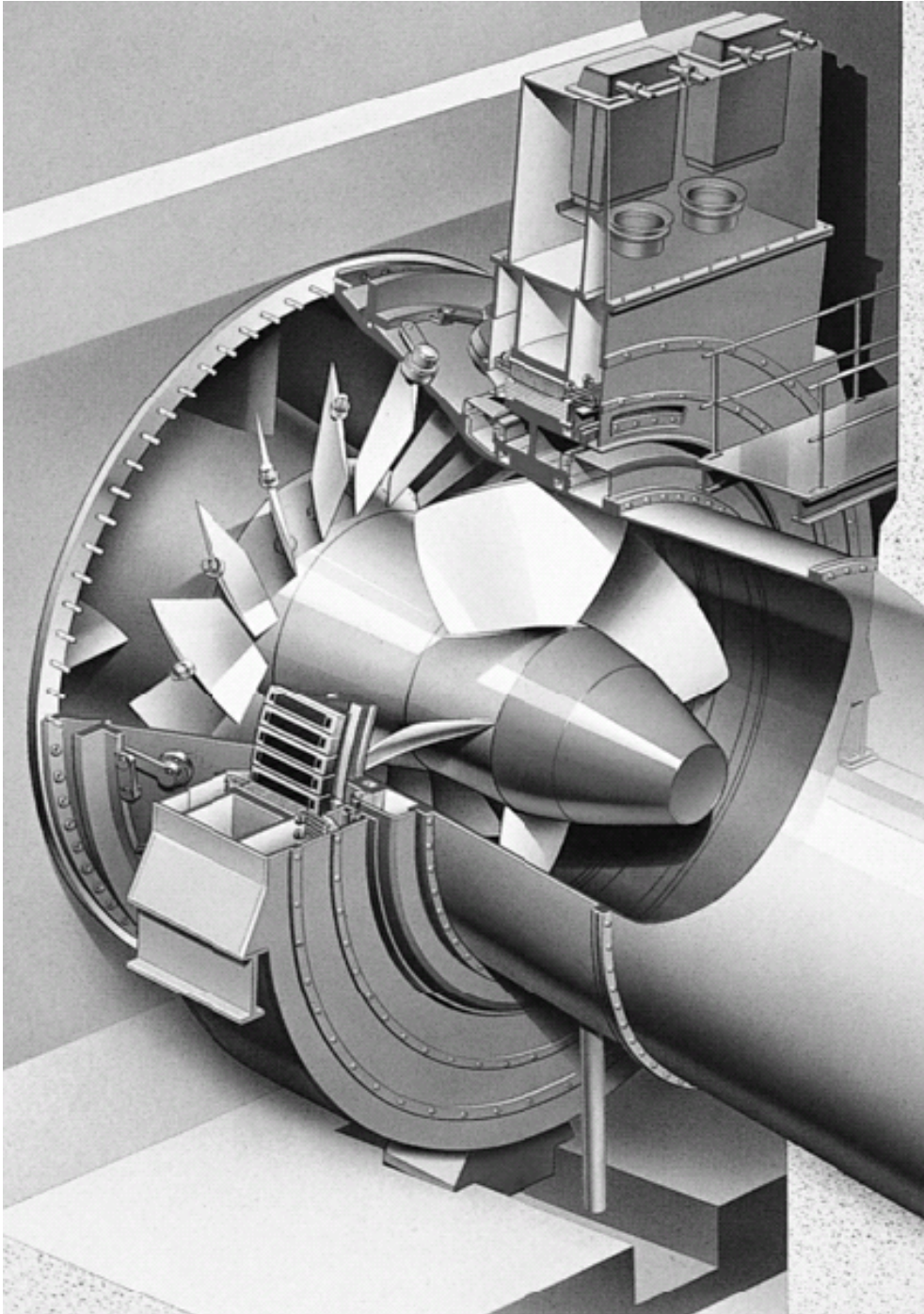
Kuva 9. S-turbiinin rakennekuva ja putkeen sijoitus [14, s. 137].

Potkuriturbiinissa (kuva 10) juoksupyörän siivet ovat kiinteät ja johtosiivet säädettävät. Muuten turbiini/generaattorikokonaisuus on samanlainen kuin muissakin putkiturbiineissa.



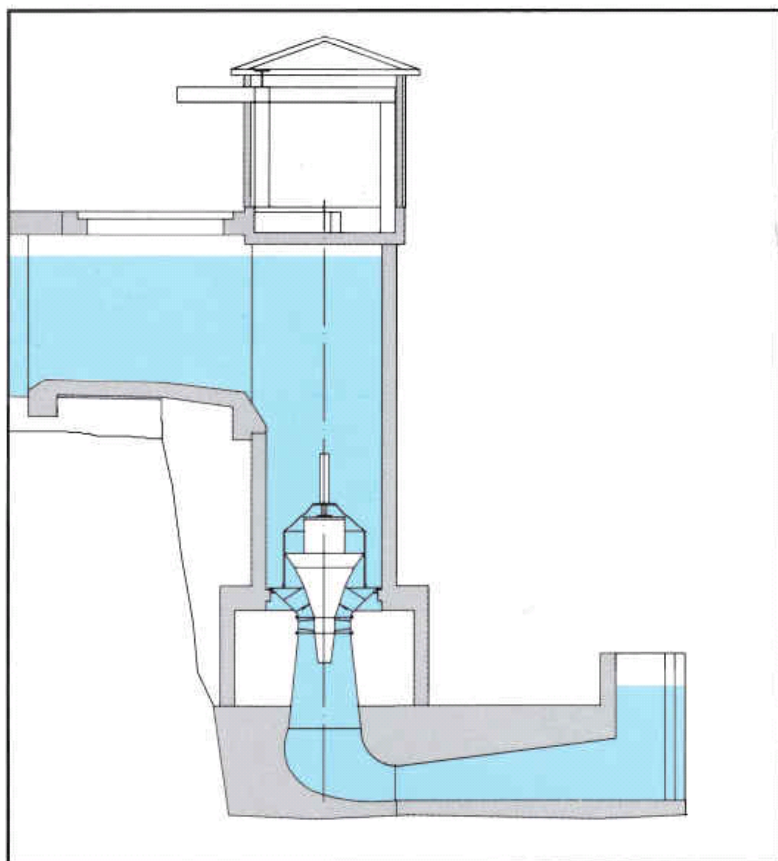
Kuva 10. Potkuriturbiinin rakennekuva [15, s. 6].

Straflo-turbiini (kuva 11) on hyvin samankaltainen kuin potkuriturbiini. Eroavaisuutena näillä kahdella turbiinimallilla on se, että Straflo-turbiinissa generaattori sijaitsee potkurin ympärillä ja potkuri toimii generaattorin roottorina. Tästä on hyötyä silloin, kun turbiinin sijoituspaikka on ahdas ja tarvitaan tilaa vesiputkeen.



Kuva 11. Straflo-turbiinin rakennekuva [16, s. 5].

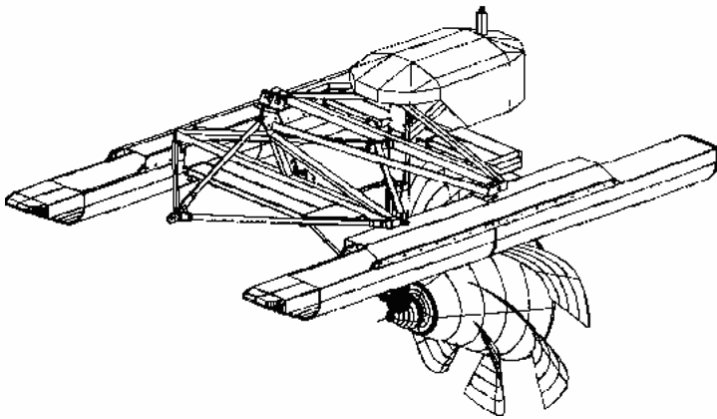
Kompaktiturbiini (kuva 12) on myös eräänlainen putkiturbiini joka suunniteltu mataliin putouskorkeuksiin ja pienille virtauksille. Tämä malli on erityisesti suunniteltu paikkoihin missä voimalaitos ja pato sijaitsevat lähellä toisiaan. Kompaktiturbiinissa erikoisuutena on se, että hydraulinen sulkulaitteisto on voitu yhdistää turbiinikokonaisuuteen. Kompaktiturbiini voidaan asentaa vaaka- tai pysty asentoon. [12.]



Kuva 12. Kompaktiturbiinin rakenne kuva sekä turbiinikokonaisuuden laitokseen sijoitus [12].

3.1.5 Tyson-turbiini

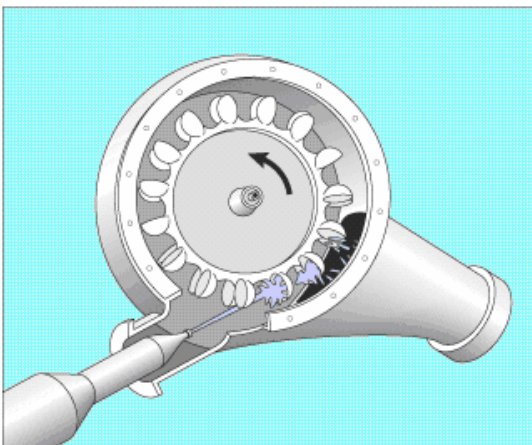
Tyson-turbiini (kuva 13) on kelluvilla ponttooneilla oleva turbiini, mistä kulmavaihteella välitetään pyörimisliike generaattorille ponttoonin päälle. Tyson-turbiini on helppo sijoittaa virtaavaan paikkaan ja ankkuroida se paikalleen. Turbiini tarvitsee ainoastaan riittävän syvän kohdan sekä melko nopean virtauksen toimiakseen. Tyson-turbiinilla hyötysuhde jää luonnollisesti heikommaksi kuin muilla turbiineilla, joilla vesi voidaan ohjata keskitetysti turbiinin läpi. Lisäksi yksikö koot ovat pieniä ja tehot ovat yleisesti noin 100 kW:n luokkaa. Maailmalla on samalla toimintaperiaatteella toimivia turbiineja, jotka hyödyntävät joissa siirtyviä vesimassoja, mutta Suomessa tällaisia ei kuitenkaan ole.



Kuva 13. Tyson-turbiinin rakennekuva [17].

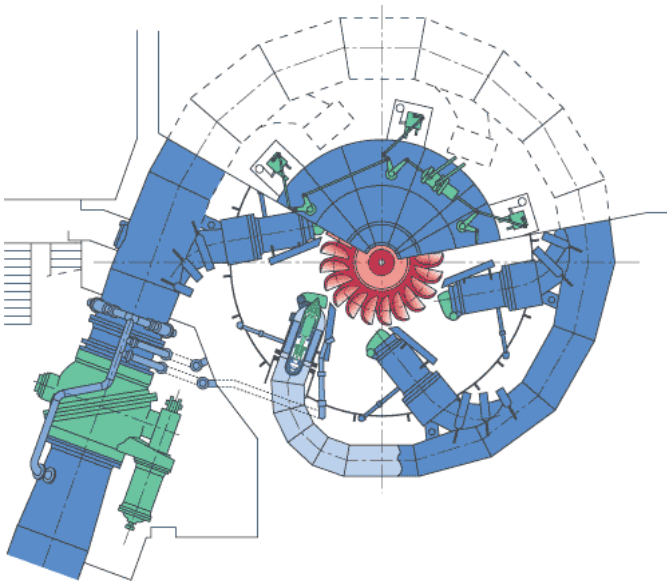
3.1.6 Pelton-turbiini

Pelton-turbiini (kuva 14) on suunniteltu pääasiassa suurille putouskorkeuksille, muutamasta sadasta metristä jopa pariin kilometriin. Tästä johtuen tämä turbiini ei juuri sovellu suuremmissa mittakaavassa Suomen oloihin, mutta mikrovovesivoimalaitoksina näitä käytetään pienemmilläkin putouskorkeuksilla. Pelton-turbiinin toiminta perustuu siihen, että vesi purkautuu suuttimesta tai suuttimista putouskorkeutta vastaavassa paineessa vesisuihkuna, jolloin veden energia muuttuu liike-energiaksi. Kun vesisuihku suunnataan kuppimaisille siiville, tämän seurauksena juoksupyörä rupeaa pyörimään ja pyörittää samalla generaattoria. [7.]



Kuva 14. Pelton-turbiinin toimintaperiaate [18].

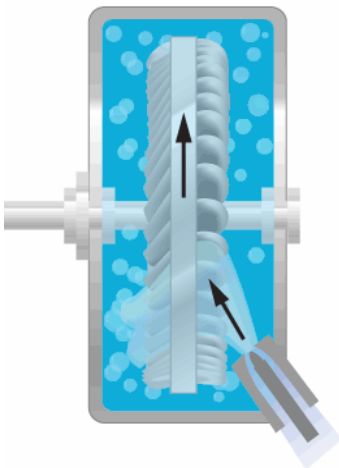
Multi-jet pelton-turbiini (kuva 15) on muuten samanlainen turbiinimalli kuin tavallinen Pelton-turbiinikin, mutta veden suihkutusta on tehostettu sijoittamalla turbiinin siipipyörän ympärille useita suuttimia tasavälein, yhden sijasta.



Kuva 15. Multi-jet pelton-turbiinin toiminta periaate [19].

3.1.7 Turgo-turbiini

Turgo-turbiinin toiminta perustuu myöskin Pelton-turbiinin toiminta periaatteeseen. Eroavaisuutena näillä on se, että Turgo-turbiinissa vesisuihku tulee hieman vinossa kulmassa turbiinin siiville, ja turbiinin siipipyörä on muotoiltu tällaiseen suihkutukseen soveltuvaksi (kuva 16).

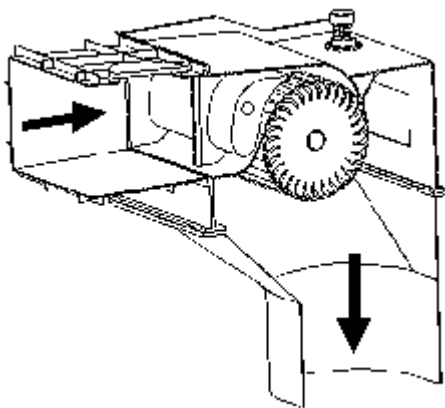


Kuva 16. Turgo-turbiinin toimintaperiaate ja rakennekuva [20].

3.1.8 Bank-turbiini

Bank-, toiselta nimeltään Crossflow-turbiinilla on erittäin laaja toiminta-alue ja se on melko halpa ja käytetty malli varsinkin minivesivoimalaitoksissa (yleensä noin 100 kW kokoluokassa). Turbiinin

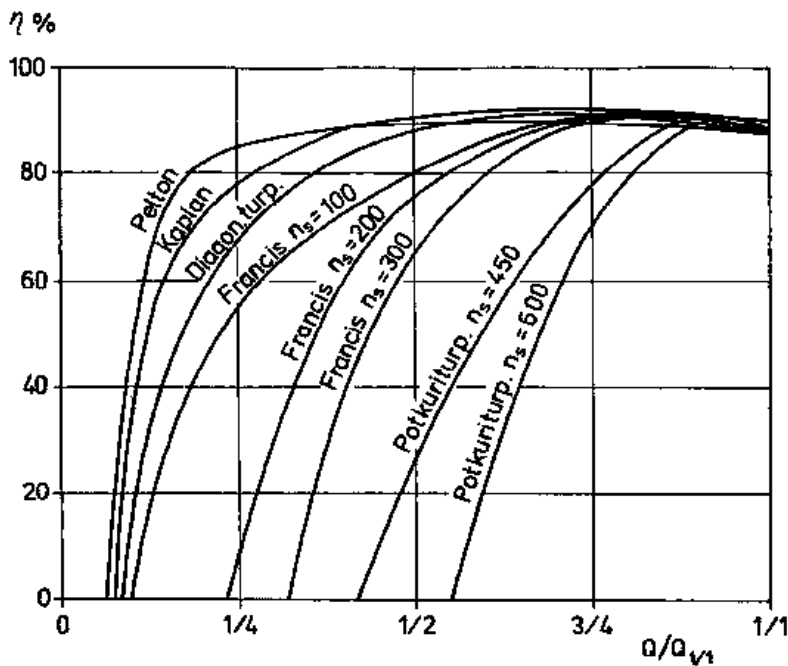
virtauksen säätö tehdään ennen turbiinin siipipyörää säädettävällä sulkuläpällä minkä jälkeen vesi menee turbiinin siivistölle pyörittäen turbiinia (kuva 17). Bank-turbiinin huono puoli on sen melko heikko hyötysuhde, joka jää parhaimmillaankin vain 70 - 80 %:iin.



Kuva 17. Bank-turbiinin toimintaperiaate [21].

3.2 Vesiturbiinien soveltuvuus eri käyttökohteisiin

Syy, miksi vesiturbiini malleja on niin monta eri mallia, johtuu hyvin erilaisista käyttökohteista ja kuormituksista. Eri turbiinimallit toimivat optimaalisesti erilaisilla putouskorkeuksilla ja virtausmäärillä. Lisäksi eri paikoissa voi olla eri ajanjaksoina hyvinkin erilaiset kuormitukset, jolloin suuri säädettävyys eri virtausnopeudella ilman hyötysuhteen laskemista olisi optimaalinen tilanne. Kaplan-turbiinissa on laaja säätövara, mutta se on rakenteensa vuoksi monimutkainen ja kallis vaihtoehto verrattuna esimerkiksi huonommin säädettävään Francis-turbiiniin. Tällaisista syistä johtuen turbiinin valinta on aina enemmän tai vähemmän kompromissiratkaisu. Alapuolella olevassa kuvassa 18 on hyötysuhdekäyriä eri turbiinityypeillä. Näistä nähdään että hyötysuhde nousee noin 90 %:n paikkeille kaikilla eri turbiinimalleilla, kun olosuhteet ovat optimaaliset. Lisäksi kuvaan on lisätty n_s arvo, joka osoittaa ominaispyörimisnopeuden. Pääsääntönä voidaan pitää sitä, että mitä pienempi ominaispyörimisluku on, niin sitä laakeampi käyrästä muodostuu, eli toisin sanottuna hyötysuhde on hyvä osakuormillakin.



Kuva 18. Hyötysuhdekäyrän muoto eri turbiinityypeillä ja ominaispyörimisnopeuksilla virtaaman funktiona [14, s. 86].

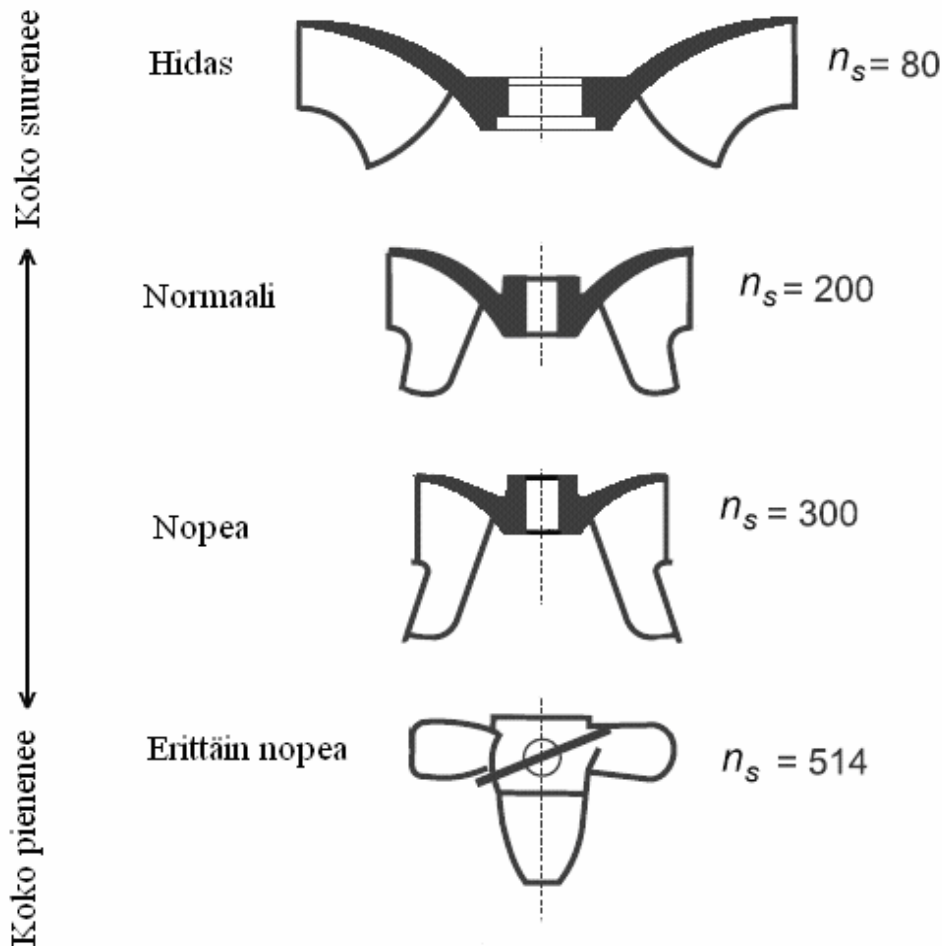
Ominaispyörimisnopeuden vaikutus turbiinin kokoon on merkittävä siksi, että mitä suurempi nopeus on, niin sitä pienempi turbiinin juoksupyörän täytyy olla ja päinvastoin. Alla on kaava ominaispyörimisnopeuden laskemiseksi:

$$n_s = \frac{\omega \cdot \sqrt{\frac{P}{\rho}}}{g \cdot H^{\frac{5}{4}}} \quad [22]$$

Ominaispyörimisnopeuden vaikutuksesta turbiinin muoto muuttuu oleellisesti juoksupyörän koon kasvaessa. Alla on kaava juoksupyörän halkaisijan laskemiseksi:

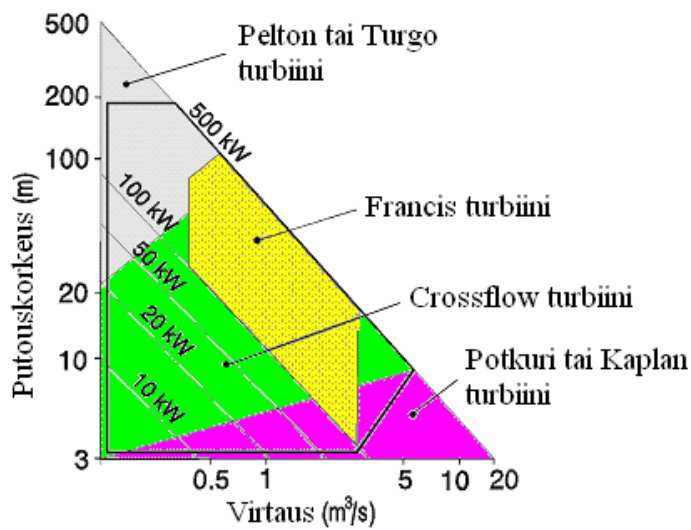
$$D = \frac{2 \cdot \sqrt{\eta \cdot g \cdot H}}{\omega} \quad [22]$$

Kuvassa 19 on suhteutettu juoksupyörän kokoa, muotoa ja pyörimisnopeutta toisiinsa. Yleisesti voidaanankin sanoa että: ”Ominaispyörimisnopeus määrää turbiinin yleismuodon ja hydrauliset ominaisuudet” [4, s. 75].

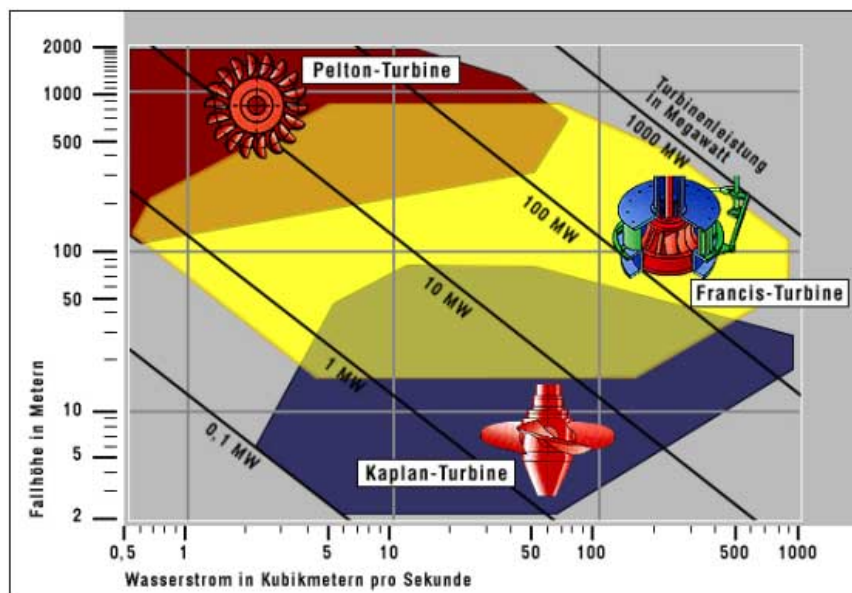


Kuva 19. Ominaispyörimisnopeuden vaikutus turbiinin kokoon [23].

Lisäksi turbiini mallit on suunniteltu vain tietynlaisiin putouksiin ja virtauksiin. Tästä johtuen kaikki turbiinimallit eivät sovi kaikkiin olosuhteisiin. Alapuolella olevassa kuvassa 20 on haarukoitu pienvesivoimaloiden eri turbiinimallien optimaalisia käyttöalueita. Kuvassa 21 on tehty samanlainen vertailtu, mutta suuremmissa laitoksissa.



Kuva 20. Pienvesivoimaloiden turbiinien optimaalisia toiminta-alueita virtaaman ja putouskorkeuden funktiona [24].



Kuva 21. Suurempien vesivoimaloiden turbiinien optimaalisia toiminta-alueita virtaaman ja putouskorkeuden funktiona [25].

Turbinenleistung in megawatt = Turbiinin teho (MW)

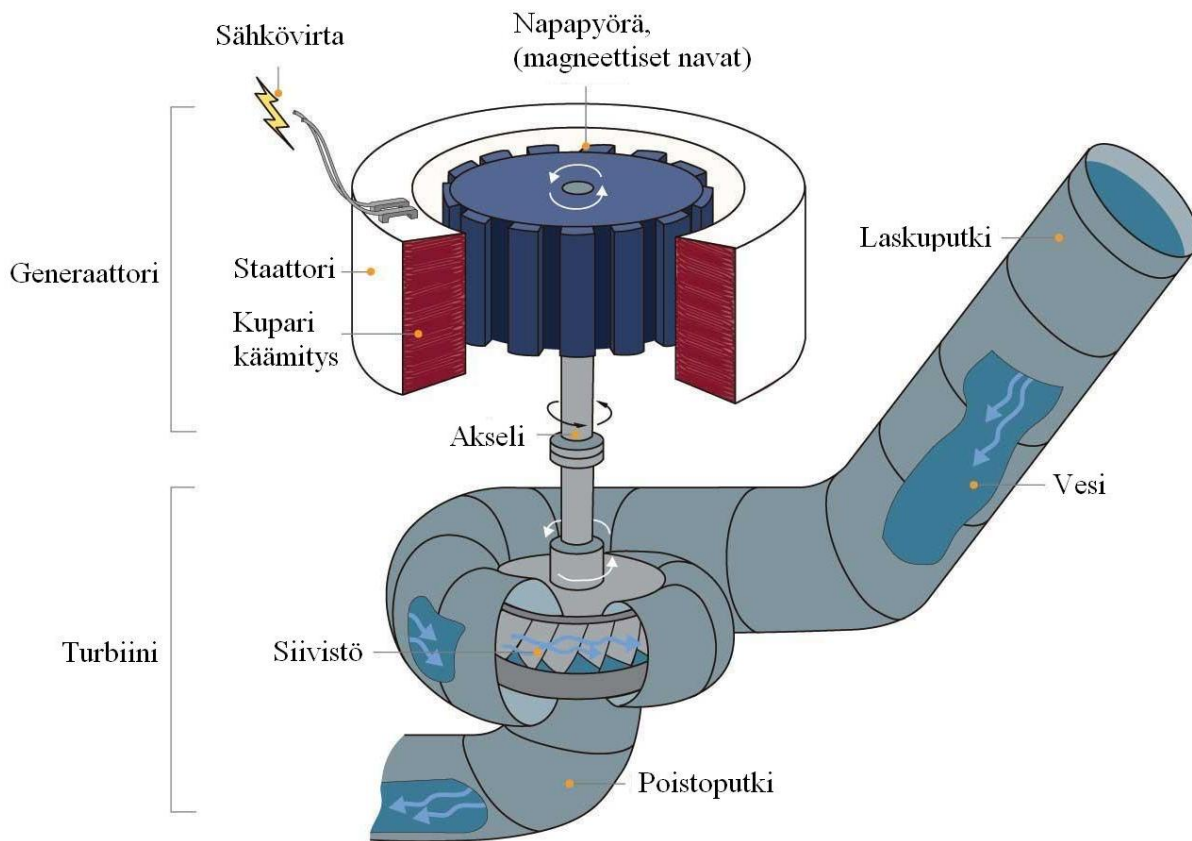
Wasserstrom in Kubikmetern pro Sekunde = Veden virtaus (m³/s)

Fallhöhe in Metern = Putouskorkeus (m)

3.3 Vesiturbiinilaitosten sähköistys ja automaatio

3.3.1 Generaattorilaitteisto

Generaattoreita on olemassa kahta eri tyyppiä; tasavirtageneraattorit ja vaihtovirtageneraattorit. Tasavirtageneraattoreja on käytetty ensimmäisissä vesivoimaloissa, mutta jo 1930-luvun paikkeilla tasavirtageneraattoreilla tuotetun sähkön osuus oli enää noin 5 %:n luokkaa. Nykyään käytetäänkin pelkästään vaihtovirtageneraattoreja, jotka vielä voidaan jakaa kahteen eri luokkaan: tahtigeneraattorit (synkronigeneraattorit) ja epätahtigeneraattorit (asynkronigeneraattorit). Suurin ero näissä kahdessa mallissa on se, että epätahtigeneraattorit tarvitsevat ”herätevirtaa”, jotta generaattori pysyisi sille tarkoitetulla taajuudella. Tahtigeneraattoreissa taajuus säädetään turbiinin pyörimisnopeudella. Yleensä pienvesivoimaloissa käytetään epätahtigeneraattoreita, koska niiden rakenne on yksinkertainen, mikä taas vaikuttaa siihen, että epätahtigeneraattorit ovat edullisempia kuin tahtigeneraattorit. Tämä on yleensä pienvesivoimaloiden kannattavuuden kannalta merkittävä tekijä, koska generaattorin hinta voi olla jopa 25 % kokonaiskustannuksista. Tahtigeneraattoreita käytetään pääasiassa kun yksikkötehot ovat suuria, laitosta halutaan käyttää verkosta erillään ja/tai halutaan kompensointikykyä loisteholle. Epätahtigeneraattoreita käytetään, kun yksikkötehot ovat pieniä, turbiinilla/turbiineilla suuri pyörimisnopeus ja/tai turbiinin kierrosluvun säätöjärjestelmä on ”karkea”. Generaattorilaitteistoahan tarvitaan siihen, että akselilta tuleva mekaaninen teho saadaan muutettua sähköksi. Pääpiirteissään generaattori (kuva 22) toimii näin: generaattorin napapyörässä on magnetoidut navat, jotka pyörimisliikkeen ansiosta muodostavat magneettikentän, joka kulkee staattoriin asennettujen käämien läpi muodostaen käämeihin vaihtojännitettä, mikä tämän jälkeen siirretään sähköverkkoon. [4, s. 164 - 169.]



Kuva 22. Generaattorin toimintaperiaate ja rakennekuva [26].

3.3.2 Sähkönjakelulaitteisto

Sähkönjakelu on olennainen osa turbiinia, koska näin sähkö saadaan siirrettyä voimalaitokselta kuluttajille. Sähköhän tulee generaattorilta, johon on yleensä valittu jokin standardijännite: esimerkiksi 400 V kuten Vuosaareenkin on suunniteltu. Vuosaaressa 400 V pitää vielä muuntaa 6 kV:n erillisellä muuntajalla, jotta sähköliitäntä saadaan suoraan liitettyä Vuosaaren laitoksen sähköjärjestelmään. Jännitteen taajuus säädetään Suomessa synkronigeneraattoreilla 50 Hz:iin kierrosnopeutta säätämällä, asynkronigeneraattoreissa kierrosnopeudet ovat jättämän verran (1... 3 %) suurempia. Alapuolella on kaava taajuuden laskemiseksi synkronigeneraattoreilla.

$$f = \frac{n \cdot p}{60} \quad (\text{synkronigeneraattorilla})$$

[14, s. 165]

3.3.3 Ohjaus- ja säätöjärjestelmät

Automaatiojärjestelmiä tarvitaan ohjaamaan ja säätämään laitosta. Automaatiojärjestelmä valvoo laitosta ja esimerkiksi vikatilanteessa pysäyttää laitoksen automaattisesti. Pienet vesivoimalaitokset ovat yleensä rakennettu kaukokäyttöisiksi ja/tai ohjattavaksi yhdestä valvomosta, missä voidaan valvoa useaa laitosta yhtä aikaa. Valvomot voivat myös sijaita jonkin muun voimalaitoksen valvomon yhteydessä. Yleensä vesivoimalaitosten automaatio järjestelmiin kuuluu ainakin seuraavia komponentteja:

- automaattinen käynnistys- ja pysäytys
- vedenpinnan korkeudensäätö
- kaikkien apulaitteiden ohjaaminen ja säätäminen
- sulkuluukkujen ja ohituskanavien automatiikka
- öljypinnan- ja paineen valvonta.

Lisäksi laitoksiin kuuluu erilaisia sähköisiä komponentteja, joita valvotaan ja säädetään. Muutamia yleisimpiä ovat:

- jännitteen, pätö- ja loistehon mittaukset
- alijännitteen, ylivirran-, oikosulun- ja säätämisenvalvonta. [27, s. 42; LIITE 14.]

3.4 Vesiturbiinien käytännön ongelmat

3.4.1 Kavitaatio

Käytännössä vesiturbiineissa ilmenevät ongelmat aiheutuvat pääasiassa kavitaatiosta. Kavitaatiota voi ilmetä, kun neste, tässä tapauksessa vesi, virtaa turbiinin juoksupyörän siipien ohi. Kavitaatio aiheutuu siitä, että veden paine laskee alle veden höyrystymispaineen, mistä johtuen vesi rupeaa höyrystymään ja kuplimaan. Kun tällaiset kuplat sitten osuvat juoksupyörän siipiin, ne aiheuttavat paineiskuja, jotka ajan kanssa aiheuttavat kovaa kulumista metallipinnoissa. Tällaista ilmiötä kutsutaan kavitaatioeroosioksi, joka aiheuttaa näkyvimpänä haittana tehon heikkenemistä siipipyörän kuluessa puhki. [14, s. 75.] Kavitaatiota aiheuttava paineen aleneminen aiheutuu

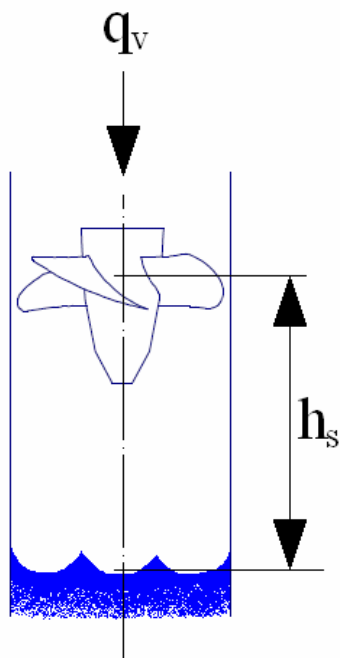
- juoksupyörän siiven paine-erosta (Δp) ja relatiivisen nopeuden (w) epätasaisesta jakautumisesta

$$\Delta p = \frac{\lambda \cdot (w_2)^2}{2 \cdot g}$$

- dynaamisesta imukorkeudesta (h_d)

$$h_d = \frac{\eta_s \cdot (c_2)^2}{2 \cdot g}$$

- staattisesta imukorkeudesta (h_s)” [14, s.75.], alla h_s :n mitoitus.



Kuva 23. Staattisen imukorkeuden mitoitus [12].

Juoksupyörän siivissä tapahtuva paine-ero, relatiivisen nopeuden epätasainen jakautuminen ja dynaaminen imukorkeus ovat turbiinista johtuvia seikkoja, jotka aiheuttavat turbiinille dynaamista paineenalenemista (Δh). Yllä mainitut kaksi kaavaa yhdistämällä saadaan turbiinin dynaamiselle paineenalenemiselle ratkaisukaava:

$$\Delta h = \eta_s \frac{(c_2)^2}{2 \cdot g} + \lambda \frac{(w_2)^2}{2 \cdot g}$$

Turbiinin kavitaatio-ominaisuuksia kuvaa Thoman kavitaatiokerroin:

$$\sigma_T = \frac{\Delta h}{H}$$

Tämä on yhteydessä siihen, kun turbiini toimii kavitaatorajalla. Tällöin juoksupyörässä esiintyvä alin paine on höyrystymispaine (h_v):

$$p_{\min} = \rho \cdot g \cdot h_v$$

$$\frac{p_{\min}}{\rho \cdot g} = h_b - h_s - \Delta h = h_v$$

Tästä saadaan johdettua $\Delta h'$:lle lauseke, joka kuvaa laitoksen dynaamista paineenalenemista:

$$\Delta h' = h_b - h_v - h_s$$

Se edustaa staattisen imukorkeuden (h_s) vaikutusta; tämä taas riippuu turbiinin sijoituksesta laitoksen sisällä. Tästä voidaan päätellä laitoksen kavitaatiokerroin:

$$\sigma_L = \frac{\Delta h'}{H} = \frac{(h_b - h_v - h_s)}{H}$$

Kavitaatio voidaan poistaa oikealla turbiinin sijoituksella poistovesiputkeen ja alavesipintaan nähden. Näin saadaan tarpeeksi korkea paine ennen turbiinia jolloin kavitaatiota ei esiinny. Turbiinin sijoittaminen poistovesiputkeen lasketaan seuraavasti:

Kavitaatoraja:

$$\sigma_L = \sigma_T$$

Eli kavitaatiovapaan toiminnan ehtona on

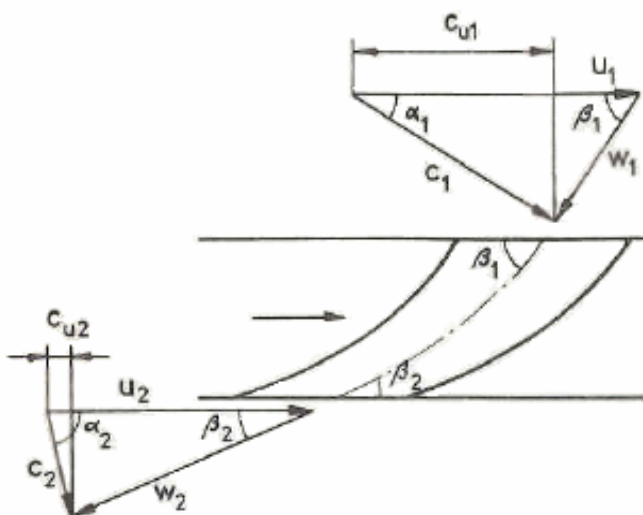
$$\sigma_L > \sigma_T$$

Näin ollen turbiinin juoksupyörän etäisyyden alaveden pinnasta täytyy olla alla olevan ehdon mukainen, jottei kavitaatiota ilmenisi.

$$h_s < h_b - h_v - \sigma_T \cdot H$$

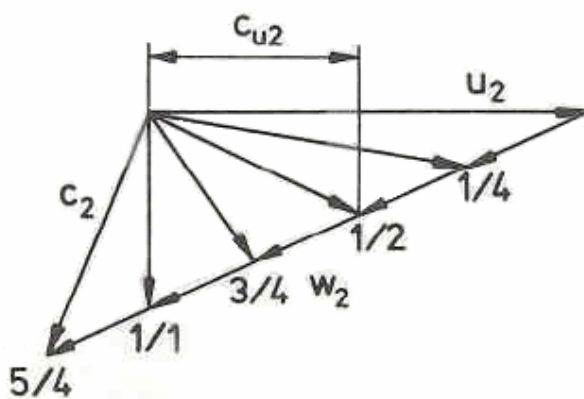
[14, s. 75.]

Kavitaation laskeminen numeerisesti on silti hyvin vaikeaa, koska kaikki turbiinissa olevat seikat vaikuttavat kavitaatioon, mm. täytyisi tietää tarkat turbiinien siipien mitat, lapakulmien asteisuus, pyörimisnopeus, turbiinin koko, siiven halkaisija, veden nopeus ennen ja jälkeen siivistön, jne. Jos nämä alkutiedot olisivat selvillä, niin pystyttäisiin ratkaisemaan tarvittavat tiedot kavitaatiorajan laskemiseksi edellä olevilla kaavoilla nopeuskolmioita hyväksi käyttäen (kuva 24.). Mutta koska näitä alkutietoja ei ole yleensä saatavilla, niin laskut ovat hyvin vaikeita ratkaista. Kuten Energiatekniikka-kirjan Vesiturbiinit-luvussa todetaankin: ”Todellisuudessa osavirtaamia rajoittavat virtauspinnat vääristyvät, ja 3-ulotteisen virtauksen laskenta on hyvin vaativa ongelma.” [4, s. 103]. Laskettujen arvojen tulokset ovatkin vain suuntaa näyttäviä. Tästä johtuen turbiinien valmistajat kertovat yleensä itse rajoittavat mitat turbiinin sijoittamiselle. Toinen syy, mikseivät valmistajat halua kertoa potkurien kulmia sekä tarkkoja mittoja, on se, että tiedot halutaan yleensä pitää liikesalaisuutena. Näin ollen valmistajat ilmoittavat kavitaation kannalta turbiinille mitat alavesipinnan ja turbiinin potkurin välille. Vuosaaren tapauksessa valmistajan antama suositeltu etäisyys alavesipinnan ja turbiinin välillä on noin metri, joka silmämääräisesti vaikuttaisikin olevan juuri sama korkeus, mihin turbiinia on alun perin suunniteltu. Mikäli hanke toteutuu, niin turbiini toimittaja laskee tarkan kavitaatiorajan itse ja muokkaa turbiinin potkurin koon, muodon, kierrosnopeuden, ym. olosuhteisiin sopivaksi. Mutta koska laskentaprosessi on niin haastava ja aikaavievä, niin turbiinitoimittaja ei rupea kavitaatiota laskemaan, ennen kuin turbiini tilaus on varma, turhien kustannuksien välttämiseksi.

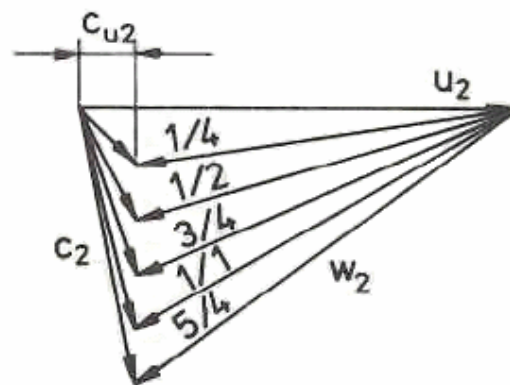


Kuva 24. Tulo- ja lähtöreunan nopeuskolmiot [14, s. 71].

Kavitaatorajan selvittäminen ei ole yhtä vaikeaa kiinteillä siivillä kuin säädettävillä, joten kiinteillä siivillä laskenta hieman helpottuu, koska kaikkia kulma vaihtoehtoja ei tarvitse laskea. Kuvassa 25 on vertailtu kiinteiden ja säädettävien siipien c_{u2} :n muuttumista osakuormilla (c_{u2} = Todellinen u_2 :n suuntainen nopeus ennen juoksupyörää). Säädettävillä siivillä vesi poistuu ilman c_{u2} :n suurenemista, mutta kiinteillä siivillä c_{u2} :n suureneminen aiheuttaa häviöitä. Tämän johdosta kiinteillä siivillä hyötysuhde huononee osakuormilla oleellisesti.



Francis-turbiini



Kaplan-turbiini

Kuva 25. Juoksupyörän lähtöreunan nopeuskolmion muuttuminen syöstin muuttuessa, Francis-turbiinilla sekä Kaplan-turbiinilla [14, s. 87].

Alla kuvassa 26 tapahtuu kavitaatiota siivessä, jonka pintaan ilmakuplat iskeytyvät. Pienvesivoimalaitoksissa juoksupyörä voi kulua kavitaation vaikutuksesta jopa vuodessa käyttökelvottomaksi ja uusittavaan kuntoon.



Kuva 26. Kavitointia turbiinin siivessä [28].

Kavitaatiota esiintyy yleisesti osakuormilla kun veden pyörteisyys lisääntyy. Mikäli huipputeholla esiintyy kavitointia, niin sitä voidaan ehkäistä ja vähentää virtausnopeutta pienentämällä sekä pitämällä virtaus tasaisena. Lisäksi ainevahvuuksia ja kestävämpiä materiaaleja lisäämällä saadaan kavitaation vaikutuksia eliminoitua jo rakennusvaiheessa. Tällaiset toimenpiteet tarkoittavat kuitenkin lisäkustannuksia, joten pieni kuluminen yleensä hyväksytään. Suurimmissa laitoksissa kavitaation poistamiseksi osakuormalla voidaan myös puhalttaa ilmakuplia turbiinille mikä poistaa kavitoinnin, mutta tällaiset toimenpiteet aiheuttavat lisäkustannuksia ja tehon heikkenemistä. [14, s. 75.]

3.4.2 Värähtely

Värähtely voi johtua monesta syystä, jotka voivat aiheuttaa turbiinin rikkoontumisen tai olla merkki siitä, että turbiini on jo rikki. Tällaisessa tilanteessa käyttö on parasta keskeyttää ja tarkastaa turbiini heti suurempien vikojen välttämiseksi. Värähtelyä voi aiheuttaa kavitaation kuluttama juoksupyörä, laakerivaurio, jokin mekaaninen rikkoutuminen, esimerkiksi siiven ja kammion väliin päässyt vieras esine tai turbiinista irronnut osa. [14, s. 75.]

3.4.3 Putoushäviöt

Putoushäviöt voivat muuttua merkittäviksi, varsinkin Suomen olosuhteissa, missä putouskorkeudet ovat matalia ja voimalaitokset pieniä. Putoushäviöitä voidaan vähentää laajentamalla virtauskanavia, jotta vesi pääsisi virtaamaan mahdollisimman esteettömästi. [27, s. 42.]

3.4.4 Hiekka ja epäpuhtaudet

Hiekkaisissa ja savisissa vesissä, erityisesti keväällä jokien tulviessa on mahdollista, että epäpuhtaudet voivat aiheuttaa vaurioita ja kulumista. Tätä voidaan välttää ohijuoksutuksella. Aktioturbiineissa hiekka voi suuttimista tullessaan aiheuttaa kovaa kulumista siivissä, mutta muissa turbiineissa tällaisia ongelmia ei juuri esiinny. Suurimpia roskia varten, esimerkiksi puunrunkojen, risujen, kivien sekä muiden järvissä esiintyvien roskien takia, on imupuolelle asennettu välppä, joka on teräsverkko ennen turbiinia voimalaitoksen virtauskanavassa. Tämä estää roskien pääsyn turbiinille saakka. Välppä täytyy puhdistaa aika ajoin, ja tämä toimenpide voidaan suorittaa mekaanisesti käsin tai koneellisesti riippuen laitoksesta.

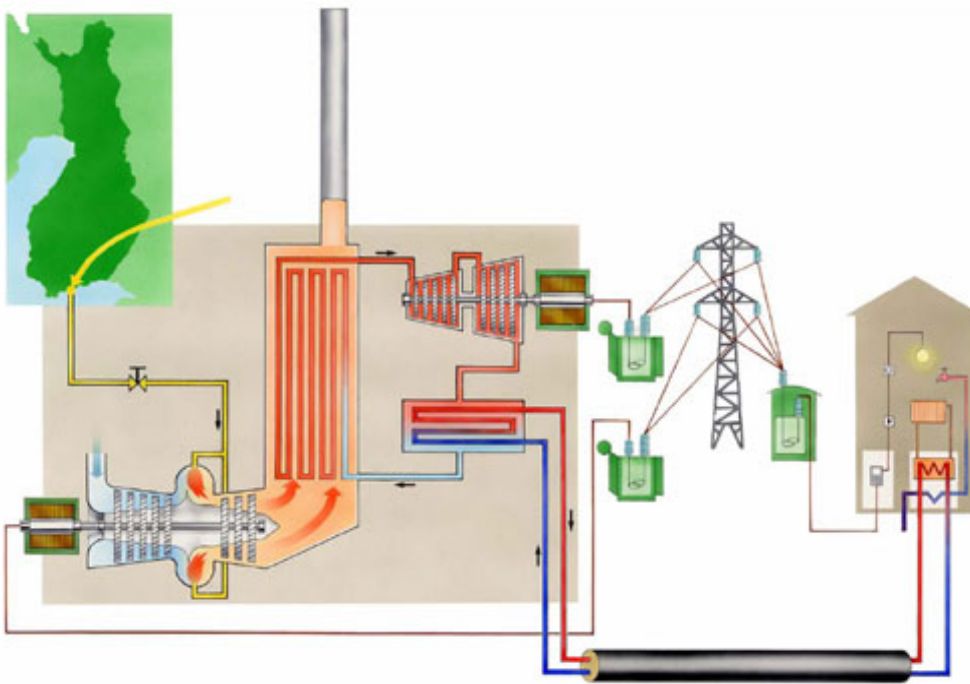
3.4.5 Veden jäätyminen

Suomen kylmissä olosuhteissa on erikoispiirre verrattuna lämpimämpien maiden vesivoimalaitoksiin: voimalaitosrakenteisiin saattaa talvella kerääntyä jäätä, mikä aiheuttaa jään kerrostumista välppärakenteisiin. Tämä heikentää veden virtausta ja tätä kautta aiheuttaa tehon heikkenemistä sekä saattaa jopa huonoimmassa tapauksessa ajaa laitoksen kokonaan alas. Tällaisen alijäähtyneen veden ja jääkiteiden kertymistä välppään kutsutaan supoksi. Suppo saattaa tukkia välppän jo muutamassa tunnissa ja on hankala poistettava. Suppo voidaan poistaa lämmittämällä välppä rautoja, kolaamalla häkkien pintaa tai huonoimmassa tapauksessa räjäyttämällä jäähän reikiä. Kaikkein paras ehkäisy kuitenkin olisi tehtävä järvien jäätyessä syksyllä, jolloin supon muodostuminen on todennäköisintä. Laitoksen tulisi vähentää virtausta, jotta ylävirran puoleiselle järven pinnalle ehtisi muodostua jääkerros. Tällainen jääkerros ehkäisee supon muodostumista. [14, s. 278 – 280.]

4 VUOSAAREN B-VOIMALAITOS

4.1 Vuosaaren B-voimalaitoksen lämmön- ja sähkön yhteistuotannon toimintaperiaate lyhyesti

Vuosaaren B-voimalaitos on maakaasuvoimalaitos, mihin tulee Venäjältä maakaasua, josta energiaa saadaan yhdistetyllä höyry- ja kaasuturbiiniprosessilla. Tällaista yhdistettyä prosessia kutsutaan kombiprosessiksi. Maakaasu poltetaan kaasuturbiinin polttokammiossa, jossa kaasun tilavuusvirta kasvaa moninkertaiseksi. Tämän jälkeen kaasu johdetaan turbiiniin, mikä saa turbiinin akselin siivistöineen pyörimään. Turbiinin pyörimisliike taas pyörittää samalla akselilla olevaa generaattoria, joka sitten tuottaa sähköä. Turbiinin jälkeen kaasuturbiinista ulos tuleva noin 500-asteinen savukaasu johdetaan lämmöntalteenottokattilaan. Lämmöntalteenottokattilassa vesi rupeaa kuumenemaan ja muuttuu lopulta höyryksi. Kun syntynyt vesihöyry menee höyryturbiinin läpi, niin turbiini rupeaa pyörimään ja muuttaa pyörimisliikkeen energian sähköenergiaksi generaattorilla. Kun höyry on mennyt turbiinista läpi, se lauhdutetaan takaisin vedeksi lämmönvaihtimissa, joissa kiertää kaukolämpöverkon vesi. Tällä tavalla tuotetaan sähköä sekä lämpöä, jolloin voimalaitoksen hyötysuhteeksi saadaan noin 90 %. [33.] Alla on kuva 27, joka havainnollistaa kombiprosessia.



Kuva 27. Maakaasukombivoimalaitoksen toimintaperiaate [33].

4.2 Vuosaari B:n höyryturbiini sekä lauhdeajon toimintaperiaate

Vuosaaren B-voimalaitosta voidaan käyttää lauhdevoimalaitoksena, jos kaukolämpökuorma on alhainen ja tuotanto siitä huolimatta kannattavaa. Vuosaaren B-voimalaitoksessa on kaukolämmönvaihtimet ja erikseen vielä lauhdutin. Turbiinissa on siis lauhdeperä, joka kytketään ajotavan perusteella. Sähköä saadaan siis enemmän, koska höyry voidaan lauhduttaa alempaan lämpötilaan (kaukolämpöverkko tarvitsisi vähintään 75 °C vettä). Höyryturbiinin käyttäminen liittyy oleellisesti pienvesivoimalan kannattavuuteen, koska höyryturbiinilla ajettava lauhdeajo määrittää laitoksen merivesipumppujen käyttömäärän. Lauhdeajossa käytetään kahta merivesipumppua ja muuten yhtä merivesipumppua. Alla on selitetty höyryturbiinin toimintaa ja tämän jälkeen selostetaan lauhduttimen sekä merivesipumppujen toimintaa tarkemmin:

”Höyryturbiini on tyypiltään väliottolauhdutusturbiini. Turbiini koostuu korkeapainepesästä sekä asymmetrisistä välipaine- ja matalapainepesistä. Kattilasta tuleva korkeapainehöyry johdetaan turbiinin korkeapainepesään ja matalapainehöyry sekoitetaan korkeapainehöyryyn korkeapainepesän jälkeen. Väliottokaukolämmönvaihtimet on kytketty välipaineturbiinin perään. Turbiinin väli- ja matalapainepesien väliin on asennettu kytkin, jonka avulla matalapainepesä voidaan tarvittaessa erottaa turbiinin jatkaessa vastapaineajolla. Matalapainepesän ollessa kytkettynä laitoksella voidaan ajaa joko puhdasta lauhdeajoa, jolloin kaikki turbiinin läpi virrannut höyry menee merivesilauhduttimeen, tai seka-ajoa, jolloin osa höyrystä johdetaan väliottolämmönvaihtimiin tuottamaan kaukolämpöä.” [34]

4.3 Lauhduttimen toimintaperiaate

Lauhduttimet ovat tärkeä osa voimalaitoksen prosessia, mikä ilmeneekin jo aiemmasta tekstistä. Lauhduttimien toiminnan tarkoituksena on lauhduttaa höyry takaisin nesteeksi. Alla on tarkempi selostus lauhduttimien toiminnasta Vuosaaressa:

”Merivesilauhdutin on mitoitettu ottamaan vastaan koko turbiinin läpi virranneen höyrymäärän ja höyryturbiinin ollessa ohitettuna 70 % koko laitoksen höyrytehosta. Lauhduttimen reduktioventtiilit (4 kpl) on tosin mitoitettu läpäisemään 50 % kummankin kattilan höyrymäärästä. Lauhdutin pidetään jatkuvasti käyttövalmiudessa, sillä höyryturbiinin pikasulussa höyry johdetaan ensisijaisesti lauhduttimeen. Seuraavina on vuorossa reduktiolämmönvaihdin, joka ottaa vastaan höyryä, kun kaukolämpöveden lämpötila sitä vaatii. Starttiventtiilit (ulos katolle) avautuvat välittömästi pikasulun tapahtuessa ja sulkeutuvat vasta, kun kattiloiden tuottama höyry saadaan talteen kaukolämmönvaihtimeen, lauhduttimeen tai höyryturbiinille. Lauhdutin on titaanista valmistettu putkilämmönsiirrin.” [34]

4.4 Merivesipumppujen toiminta periaate

Vuosaaressa on kaksi 50 % lauhduttimen merivesipumppua. Pumppujen tehtävänä on pumpata merivettä lauhduttimen läpi, niin että turbiinin tuleva höyry lauhtuu takaisin vedeksi lauhduttimessa.

• valmistaja	Ahlström pumput Oy.
• tuotto	10 800 t / h (3 m ³ / s)
• nostokorkeus	18 m
• teho	662 kW
• pyörintänopeus	740 1/min [34]

4.5 Vesivoima Vuosaaressa

Tarkoituksena olisi sijoittaa vesiturbiini tai turbiinit lauhduttimen jälkeiseen poistokanavaan, minne pumput vettä pumppaavat. Näin meneteltäessä otettaisiin talteen sähköenergiaa, jota merivesipumput käyttävät ja pystyttäisiin pienentämään pumppujen käyttökustannuksia.

4.6 Huomioon otettavia asioita suunniteltaessa pienvesivoimalaa Vuosaareen

Ensimmäinen huomioon otettava asia olisi mahdollisten turbiinien tai turbiinin sijoitus voimalaitokseen. Koska voimalaitoksessa vesiturbiini ei ole tuotannon kannalta kuin ”sivutuote” niin turbiinin/turbiinien sijoittaminen, käyttöönotto ja rakentaminen eivät saisi haitata varsinaista sähkön- ja lämmöntuotantoprosessia. Turbiinien toimittaja arveli aikaisempien samankaltaisten toimitusten perusteella turbiinin/turbiinien sijoittamisen kestävän noin viikon verran. Rakennus ja asennustyöt

sijoittuisivat projektin toteutuessa kesälle 2007, laitoksen vuotuisen kesärevision aikaan, jolloin laitos seisoo joka tapauksessa. Näin meneteltäessä turbiinin/turbiinien asentaminen ei vaikuttaisi laitoksen muuhun toimintaan. Turbiinin/turbiinien sijoittaminen voimalaitokseen edellyttäisi rakennustöitä pihalueella. Lauhduttimilta lähtevä vesikanaali tarvitsee ohjuksutusputken, jotta turbiinia voidaan huoltaa sekä vikatilanteen ilmetessä vesi voidaan ohjata turbiinin ohi suoraan mereen. Alkuperäinen kanaali tulisi toimimaan ohi juoksutuslinjana ja varsinainen turbiinille/turbiineille menevä linja tulisi putkena kanaalin viereen. Tähän putkeen asennettaisiin vesiturbiini sekä sulkuluukut. Alkuperäisen kanaalin alkupäähän täytyy tehdä myös pato, jotta veden imuputki ei ”hauko ilmaa väliin” vaan imee pelkästään vettä turbiinille. Vuosaaren B-voimalaitoksesta on tehty putkistojen 3 D-mallinnus koko laitoksesta, ja tätä ohjelmaa hyväksi käyttäen turbiinin/turbiinien mallinnus laitoksen sisälle on mahdollista. Mallinnuksen avulla on pystytty mallintamaan turbiinin ja putkistojen kulkureitti laitoksella, minkä avulla on arvioitu pystytäänkö turbiineita asentamaan seinälle ilman putkimuutoksia tai koneiden siirtämisiä (LIITE 3). Laitoksen 2 D-piirustuksiin on myös tehty alustavat turbiinien mallinnukset molemmille turbiini vaihtoehdoille (LIITE 4) ja turbiinin/turbiinien sijoittumiskohta tulisi olemaan merivesipumppaamon tyhjällä seinällä. Liitteessä 5 on kuva merivesipumppaamon tyhjästä seinästä, missä suunniteltujen turbiinien imuputkien tuloaukot seinästä merivesipumppaamoon on kehystetty punaisella.

4.7 Pienvesivoimalan sähköistys ja automaatio Vuosaarella

Vuosaaren pienvesivoimalaan on suunniteltu seuraavanlaisia sähköistys- ja automaatoratkaisuja: Sulkuluukku ja siihen liittyvä automaatio turbiinin imuputkeen, öljymuuntaja (maksimiteho 315 KVA ($V \times A = W$), muuntaa 400 V → 6 kV), jolloin generaattorin tuottama sähkö saataisiin liitettyä suoraan Vuosaaren sähköjärjestelmään. Sähkökaavio liitteenä 6 [34].

5 VESIVOIMAN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

5.1 Vesivoiman ympäristövaikutukset Suomessa

Vesivoiman ympäristövaikutukset ovat suurissa vesivoimaloissa melko laajat patoamisesta ja vedensäännöstelystä johtuen, lisäksi voimalaitokset voivat estää kalojen nousun jokia pitkin, mikä vaikuttaa kalakantoihin negatiivisesti. Vaikka vesivoima onkin uusiutuva luonnonvara eikä aiheuta hiilidioksidipäästöjä, niin veden säännöstelyn takia vesivoimaa ei välttämättä pidetä kovin

luontoystävällisenä ratkaisuna ainakaan suurimmissa laitoksissa. Toinen asia, joka vaikuttaa suurimmissa voimalaitoksissa säännöstelyn lisäksi, ovat maisemalliset muutokset. Vesivoimala, voimalinjat, rantojen perkaukset ja tiet ovat suurimpia maisemanmuuttajia. Vesivoiman vaikutuksia ympäristöön voidaan kuitenkin minimoida tekemällä mm. maisemointia, kalojen istutuksia, kalaportaita sekä olemalla vuorovaikutuksessa alueella asuvien ihmisten ja muiden sidosryhmien kanssa. Pienvesivoiman ympäristövaikutukset ovat yleisesti paljon pienemmät kuin suuremmissa laitoksissa, koska pienet laitokset eivät tarvitse suuria yläpuolisia altaita ja tehokasta säännöstelyä vaan toimivat yleensä virtauksen mukaan ilman säännöstelyä. [27, s. 18 – 19.]

5.2 Vesivoiman ympäristövaikutukset Vuosaaren voimalaitoksella.

Vesivoiman ympäristövaikutukset Vuosaarella ovat ainoastaan positiivisia, koska veden juoksutusta täytyisi tehdä joka tapauksessa. Näin ollen turbiinin sijoittaminen Vuosaareen olisi pelkästään energiaa säästävä toimenpide, koska vesivoimalasta saatava sähkö itsessään korvaisi fossiilisilla polttoaineilla tuotettua sähköä. Ainut asia, joka voisi vaikuttaa Vuosaaren ympäristöön negatiivisesti, olisi turbiinin hajoamistapauksessa öljyn pääseminen mereen. Vuosaarella kyseessä on kuitenkin hyvin pienet öljymäärät joita voi verrata määrältään esimerkiksi siihen, jos perämoottori rikkoutuu ja öljy pääsee mereen. Tämäkin asia on huomioitu sillä, että laitokselle suunniteltava turbiini voi sisältää sellaista öljyä, joka vesistöön päästessään neutralisoituu ja liukenee täysin veteen. Tällaista öljyä Waterpumps WP Oy on käyttänyt mm. Iso-Britanniassa juomavesiputkeen rakennetussa turbiinissa. Liitteessä 1 on vertailtu turbiinin/turbiinien vuosittaista energian tuotanto määrää; päästötöntä energiaa siihen, kuinka paljon muilla energiantuotantomuodoilla tehdyllä energialla aiheutettaisiin hiilidioksidipäästöjä, kun energiaa tuotettaisiin sama määrä kuin Vuosaaren vesivoiman vuosituotanto olisi. Vertailukohteina on käytetty muutamia yleisimpiä polttoaineita, joita Suomessa käytetään, eli maakaasua, raskasta polttoöljyä, kivihiiltä ja turvetta.

5.3 Ympäristöystävällisen imagon vaikutus pienvesivoimahankkeelle

Ympäristö ystävällisen imagon vaikutus on tietenkin tärkeä tällaisissa hankkeissa, eikä sitä voida suoraan rahalla mitata. Vaikka projektin taloudellinen kannattavuus ei olisi optimaalinen, niin silti tällaisesta projektista saatava positiivinen mainos yritykselle voi olla moninkertaisesti arvokkaampaa kuin itse projektista saatava taloudellinen voitto. Esimerkiksi luontoa säästävällä energiantuotannolla voidaan saada uusia kuluttajia asiakkaiksi pelkästään sillä, että yritys yrittää olla mukana luonnonsuojelun edistämisessä, vaikka osa tuotantolaitoksista olisikin fossiilisilla polttoaineilla toimivia

yksiköitä. Näin ollen uusiutuvien energiantuotantomuotojen käyttämisellä voi olla myös epäsuoria taloudellisia hyötyjä. Helsingin Energialla on myös oma ympäristöpennisäähköljärjestelmä mikä edistää uusiutuvien energialähteiden käyttöä sekä ympäristönsuojelua (LIITE 2) [32]. Tämäkin järjestelmä on syntynyt ihmisten lisääntyneestä kiinnostuksesta ympäristönsuojeluun, mikä tietysti on kaikkien kannalta hyvä asia. Tästä johtuen uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla vastataan ainoastaan markkinavoimien kasvaneeseen kysyntään, koska esimerkiksi (LIITE 2) [32]. Vanhankaupunginkosken museovesivoimalassa tuotetun sähkön osuudet ovat kaikki varattuina.

6 PIENVESIVOIMALAITOKSEN KUSTANNUSTEN SEKÄ KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI VUOSAARESSA

6.1 Turbiinivaihtoehdot

Turbiinivaihtoehtoina Vuosaareen on suunniteltu pääasiassa seuraavia vaihtoehtoja: yksi putkiturbiini apulaitteineen tai kaksi putkiturbiinia apulaitteineen. Turbiinivaihtoehtoja on suunniteltu yhden merivesipumpun sekä kahden merivesipumpun pumpaamalle vedenvirtaukselle. Vuosaaressa laitosta ajetaan niin, että toinen merivesipumppu pumpkaa noin 6000 tuntia vuodessa ja molemmat merivesipumput pumppaavat noin 1500 tuntia vuodessa, jolloin kahta turbiinia voisi käyttää yhtä aikaa. Käytännössä yhtä turbiinia voidaan ajaa $1500 + 6000$ tuntia vuodessa, koska ylimääräinen vesi voidaan juoksuttaa ohi. Tarkoituksena on arvioida, kumpi yllä olevista vaihtoehtoista olisi kannattavampi toteuttaa. Lisäksi on harkittava kannattaako hanketta toteuttaa ollenkaan. Tällä hetkellä parhaaksi turbiinivaihtoehdoksi arvioitiin Waterpumpsin valmistamat putkiturbiinit jotka toimivat suunnittelun pohjana. Toisena vaihtoehtona mietittiin myös kompaktiturbiineja, mutta kompaktiturbiinit tarvitsisivat veden paineistaman tilan, jotta sulkulaitteistot voisivat toimia. Tästä johtuen kompaktiturbiinit eivät sovellu Vuosaareen missä vesi pääsee myös virtaamaan ohituskanavaan, jolloin imuputki ei varsinaisesti paineistu. Näin ollen kompaktiturbiineja ja putkiturbiineja ei ole vertailtu toisiinsa kompaktiturbiinien teknisen soveltumattomuuden vuoksi.

6.2 Eri rakennevaihtoehtojen vertailu

Eri rakennevaihtoehtojen vertailua:

Ei turbiinia ollenkaan:

Positiivista:

- Ei lisää minkäänlaisia kuluja.

Negatiivista:

- Merivesipumppuja on joka tapauksessa pakko käyttää koko ajan laitoksen ollessa käynnissä, joten laitos ainoastaan menettää ”rahaa” pumppujen ollessa päällä. Siinä tapauksessa, että laitoksella olisi turbiini tai turbiinit, laitos voisi säästää oman sähkönkulutuksen pienentyessä, toisinsanoen laitoksen omakäyttösähkön osuus pienenis.

Yksi turbiini:

Positiivista:

- Nopeampi takaisinmaksu aika kuin kahdella turbiinilla.
- Käyttöaika vuodessa on pitkä.
- Minimoi merivesipumppujen menoja.

Negatiivista:

- Ei pysty hyödyntämään kaikkea saatavissa olevaa tehoa (lauhdeajo).

Kaksi turbiinia:

Positiivista:

- Tuottaa enemmän sähköä kuin yksi turbiini.
- Voidaan käyttää yhden turbiinin käyttöaikana vuorotellen, mikä pidentää huoltovälejä.
- Minimoi kaikkein parhaiten merivesipumppujen menot koko laitoksen käytön aikana, kaikki kuormitustilanteet huomioon ottaen.

Negatiivista:

- Pitkä takaisinmaksu aika

- Kahden turbiinin yhteiskäyttöaika on tällä hetkellä hyvin lyhyt, koska kahta pumppua käytetään ainoastaan lauhdeajossa, jolloin kahta turbiinia voitaisiin käyttää. Tilanne voi kylläkin muuttua tulevaisuudessa, jos lauhdeajon määrää lisääntyy sähkön hinnan noustessa. Rajoittavana tekijänä sähköntuotannolle lauhdeajolla on kuitenkin lämpökuorman määrittämä yhteistuotantokausi, kun koko lämmöntuotanto menee kulutukseen, jolloin pelkkää sähköä ei voida tuottaa. Tällä hetkellä lauhdeajon osuus on noin 20 % ajasta, jolloin laitos on käynnissä.

6.3 Pienvesivoimalaitokseen vaikuttavat tuet

Pienvesivoimaloissa tuen osuus voi olla merkittävä kannattavuuden kannalta, koska investoinnit ovat kuitenkin melko suuria ja takaisinmaksuajat voivat venyä kannattamattoman pitkiksi. Kauppa- ja teollisuusministeriö tukee pienvesivoimalaitoksia, mutta vain tietyillä ehdoilla:

”Energiatuki on harkinnanvarainen valtionavustus. Energiatuella pyritään ohjaamaan energiantuotannon ja käytön valintoja sellaiseen suuntaan, joka tuottaa vähemmän hiilidioksidia. Tällä tarkoitetaan pääosin uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja energiansäästöä.” [35].

”Energiatukea voidaan myöntää valtionavustuksena sellaisiin hankkeisiin, joilla kehitetään energiataloutta ympäristömyönteisemmäksi, edistetään uuden teknologian käyttöönottoa sekä lisätään energiahuollon varmuutta ja monipuolisuutta. Tärkeimpänä pidetään uuden teknologian käyttöönottoa edistäviä hankkeita. Tuen tarkoituksena on edesauttaa hankkeen käynnistymistä ja vähentää siihen liittyvän uuden teknologian riskejä.” [35].

”Tukea voivat saada yritykset ja yhteisöt. Avustuskelpoisia yhteisöjä ovat esim. kunnat, seurakunnat ja säätiöt. Tukea ei myönnetä asuinkiinteistöille, valtion laitoksille, maataloille, valtionosuutta saaviin perustamishankkeisiin eikä yksityishenkilöille.” [35].

Lisäksi löytyy kaikenlaisia muita säädöksiä sekä ehtoja. Liitteessä 8 [36] on tärkeimpiä otteita kauppa- ja teollisuusministeriön Internet- sivuilta, jotka eniten liittyvät pienvesivoima hankkeeseen.

Vuosaaren pienvesivoimalaitos projektille investointituki onkin hyvin tärkeä osuus rahoituksesta. Näin ollen tukihakemus onkin tehty Työvoima- ja elinkeinokeskukselle jo projektin suunnitteluvaiheessa (LIITE 7) [37]. Työvoima- ja elinkeinokeskus toimii kauppa- ja teollisuusministeriön alaisena, ja kun investoinnissa on kyseessä alle kahden miljoonan euron tukihakemus, niin hakemus tehdään Työvoima- ja elinkeinokeskukselle. Mikäli kyseessä olisi yli kahden miljoonan euron investointi tai uuden teknologian tukihakemus, niin hakemus jätettäisiin kauppa- ja teollisuusministeriölle. Mikäli pienvesivoimalaitos toimii omana yksikkönä, niin tällöin pienvesivoimalaitokset joiden yksikkökoot ovat alle 1 MW, saavat sähköntuotannonverotukea 0,42 c/kWh [41]. Vuosaaressa pienvesivoimalaitos

toimii kuitenkin voimalaitoksen osana, toisin sanottuna missä pienvesivoimalaitos tuottaa päälaitokselle omakäytösähköä, ja tällöin verotus suoritetaan koko laitoksen sähköntuotantotaseesta.

6.4 Sähköpörssi sähkön hinnan määrittelijänä

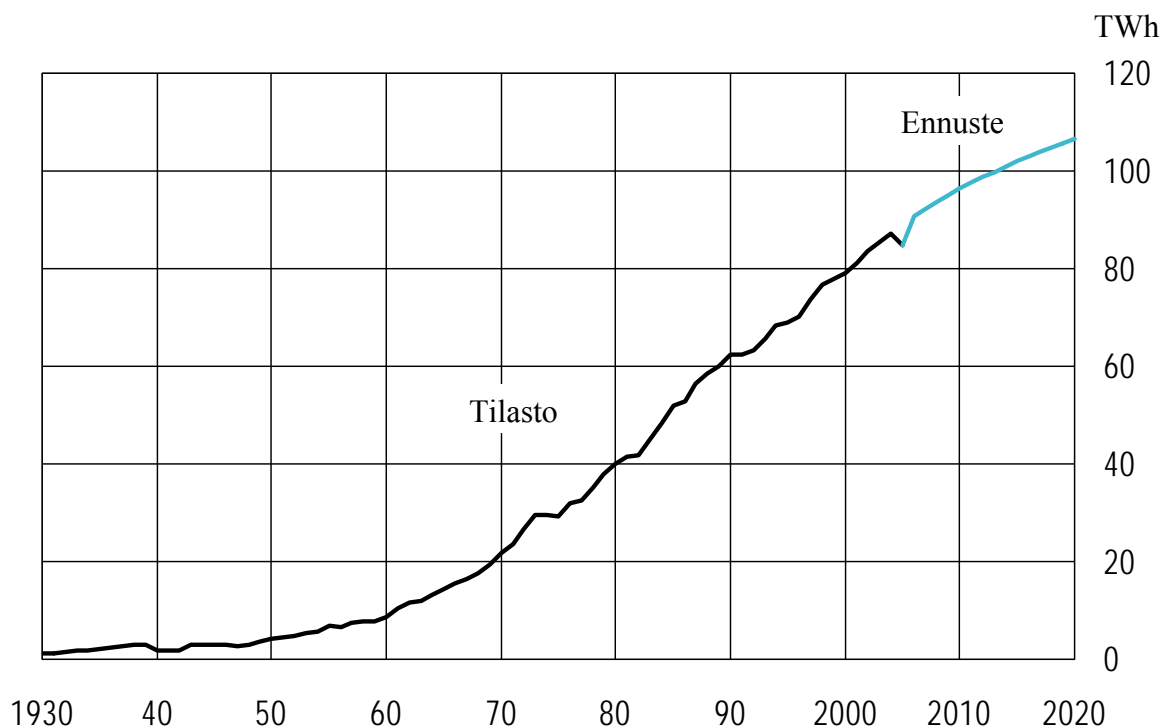
Mikäli hanke toteutuisi ja turbiinilla tai turbiineilla ruvettaisiin tuottamaan sähköä, niin saatava sähkö myytäisiin sähköpörssin kautta suoraan eteenpäin. Myytävän sähkön hintahan taas vaikuttaa suoraan projektin kannattavuuteen, ja siksi tulevaisuuden sähkön hintaa on pakko arvioida. Sähkön hintaa arvioidaan sähköpörssin jo myydyn sähkön hinnan perusteella sekä tulevaisuuden arvioidusta myytävän sähkön hinnasta. Lisäksi apuna voidaan käyttää sähkön kokonaiskulutuksen vuosittaisia tilastotietoja (kuva 28) mistä nähdään jatkuva nousujohteinen suuntaus. Vuosi 2005 näkyy tilastossa notkahduksena, joita on ollut viimeisten 30 vuoden aikana vain kolme kertaa:

”Ensimmäinen öljyn hintakriisin jälkeen vuonna 1975 jolloin vähennys oli 1,9 %, suuren taloustaantumien keskellä 0,1 % vuonna 1991 ja vuonna 2005, jolloin sähkön käyttö väheni 2,5 %.”[38]

Sähkönkäytön supistuminen vuonna 2005 johtui pääasiassa paperiteollisuuden työselkkauksesta, jonka aikana paperitehtaat olivat kuusi viikkoa pois tuotannosta. Tästä johtuen sähkönkäytön sekä sähkönkulutuksen trendiä on arvioitu seuraavasti:

”Poikkeusvuodet menevät historiaan muuttamatta yleistä kehitystrendiä”[38] sekä ”pidemmällä aikajänteellä sähkön käytön ennustetaan kasvavan vajaat pari prosenttia vuodessa.”[38]

Hintakehityksen on arvioitu nousevan fossiilisten polttoainevarojen vähentyessä, ellei keksitä uusia saasteettomia ja tehokkaita energiantuotantomuotoja. Eriävänä mielipiteenä on esitetty näkemyksiä myös siitä, ettei sähkön hinta voi ikuisesti nousta. Esimerkkinä voisi olla tuotantokapasiteetin lisääminen (Olkiluodon uuden ydinvoimalayksikön valmistuminen), jolloin sähkön hinta voisi kääntyä laskuun. Tämän takia hinnan arviointi on melko hankalaa, varsinkin puhuttaessa useiden vuosien investoinneista, jotka ovat suoraan kytköksissä sähkön hintaan. Joka tapauksessa kehitys näyttäisi tällä hetkellä jatkuvan nousujohteisena kysynnän yhä kasvaessa. Nordpool-sähköpörssin (LIITE 9) viime aikojen sähkön myyntihinta on vaihdellut hinnan 40 €/MWh molemmin puolin. Vuosaaren tapauksessa käytetään arvio hintaa tulevaisuuden sähkömarkkina hinnasta, joksi on maltillisesti arvioitu 35 €/MWh. Tämä arvio perustuu sähköpörssin tulevaisuuden sähkön hintatasoon. Laskelmissa on myös vertailtu sitä, miten sähkön hinnanmuutokset vaikuttavat investoinnin takaisinmaksu-aikaan (LIITE 10).



Kuva 28.

Sähkön kokonaiskulutuksen kasvu ja tulevaisuudenennustekäyrä [38].

6.5 Kannattavuuslaskelma

Kannattavuuslaskelma sisältää kustannusvertailun yhden tai kahden turbiinin tapauksessa. Laskelma sisältää seuraavat asiakohdat:

- vesiturbiinien teho laskelmat
- kaikki investointikustannukset sisältäen rakennuskustannukset, sähkötöiden kustannukset ja huoltokustannukset
- kannattavuuslaskelma ja takaisinmaksuaika
- vertailua sähkön hinnan muuttumisen vaikutuksesta kannattavuuteen
- sisäinen korko ja nettonykyarvo yhden turbiinin tapauksessa, kahden turbiinin tapauksessa sekä kahden turbiinin tapauksessa ”lisäturbiinille”.

Kannattavuuslaskelma löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 10.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Työssä tarkasteltiin vesiturbiinivaihtoehtoja teknisten sovellusten sekä taloudellisten seikkojen pohjalta Vuosaaren B-voimalaitokselle. Teknisesti voimalaitos soveltuisi pienvesivoimalaitokselle, koska merivesikanaalissa on noin kymmenen metrin putouskorkeus ennen merenpintaa, minne turbiinin tai turbiinit voisi sijoittaa. Kanaalissa kierrätetään pumpuilla tai pumpulla merivettä höyryturbiinin lauhduttimille koko ajan laitoksen ollessa käynnissä. Taloudellisesti työ on osoittautunut kannattavaksi jo nykyiselläkin sähkön hinnalla. Lisäksi voidaan todeta, että nykyisellä sähkön hinnan sekä kulutuksen nousujohteisella kasvulla pienvesivoimala tulee vuosi vuodelta kannattavammaksi. Laitoksen käyttömäärä vaikuttaa oleellisesti vuosittain saatavaan sähkömäärään turbiinista ja sitä kautta myydyistä sähköstä saatavaan tuottoon. Tällä hetkellä Vuosaaren B-voimalaitoksen vuotuiset käyttömäärät ovat keskimäärin noin 7500 tunnin paikkeilla, josta lauhdeajoa on noin 1500 tuntia. Näin ollen vuotuinen seisonta-aika jää noin 1000 tuntiin. Yhden turbiinin vaihtoehdolla takaisinmaksuaika jää melko lyhyeksi investointikustannusten jäädessä myös suhteellisen pieniksi. Tästä johtuen investoinnin riskit eivät ole niin suuret kuin isommissa investoinneissa. Suunnitelluista turbiini vaihtoehtoista yhden turbiinin vaihtoehto on taloudellisesti kannattava, mikä ilmenee sisäisen koron ja nettonykyarvon laskelmista. Myös kahden turbiinin vaihtoehto on kannattava, mutta jos tarkastellaan kahden turbiinin vaihtoehtoa sillä tavalla, että lasketaan yhden turbiinin kannattavuus sekä lisäturbiinin kannattavuus, niin tässä tapauksessa lisäturbiinin vaihtoehto ei ole kannattava. Toisin sanottuna vain yhden turbiinin vaihtoehto on taloudellisesti kannattava. Nämä laskelmat selviävät sisäisen koron ja nettonykyarvon laskelmasta lisäturbiinille, jolloin sisäinen korko sekä nettonykyarvo jäävät negatiiviseksi. Näiden laskelmien tulokset ja yhteenvedot on kerätty liitteestä 10 seuraaville sivuille. Näin ollen yhden turbiinin sijoittaminen Vuosaaren B-voimalaitokselle olisi kaikkein kannattavin investointivaihtoehto. Pienvesivoimalaan investoimatta jättäminen ei myöskään olisi järkevää, koska yhden turbiinin vaihtoehto on taloudellisesti kannattava.

Sähkön markkina hinta: 35 € / MWh

Yhdellä pumpulla turbiinin teho olisi: $P_1 = 262110 \text{ W} \rightarrow 262 \text{ kW} \rightarrow 0,262 \text{ MW}$

Kahdella pumpulla turbiinin teho olisi: $P_2 = 524219 \text{ W} \rightarrow 524 \text{ kW} \rightarrow 0,524 \text{ MW}$

1 pumppu tuottaa tunnissa: $35 \text{ €} / \text{MWh} \times 0,262 \text{ MW} = 9 \text{ €} / \text{h}$

2 pumppua tuottaa tunnissa: $35 \text{ €} / \text{MWh} \times 0,524 \text{ MW} = 18 \text{ €} / \text{h}$

Yhden pumpun tuotto vuodessa, jos lauhdeajossa turbiinin kapasiteetin ylittävä vesimäärä juoksutetaan ohi ja 262 kWh teholla ajetaan koko ajan laitoksen ollessa päällä:

$$7500 \text{ h} \times 9 \text{ €} / \text{h} = 68804 \text{ €} / \text{vuosi}$$

Kahden pumpun yhteiskäytössä tuotto on yhteensä:

$$(6000 \text{ h} \times 9 \text{ €} / \text{h}) + (1500 \text{ h} \times 18 \text{ €} / \text{h}) = 82565 \text{ €} / \text{vuosi}$$

TE-keskuksen investointituen osuus: 15 %

Investoinnin osuus yhdellä turbiinilla tuki huomioon ottaen: 233283 €

Vuotuisten menojen määrä keskimäärin vuodessa yhdellä turbiinilla: 3927 €

Yhden turbiinin koroton takaisinmaksuaika:

$$1 \text{ vuosi} \quad (-233283 \text{ €}) + 64877 \text{ €} = -168406 \quad \text{€}$$

$$2 \text{ vuosi} \quad (-168406 \text{ €}) + 64877 \text{ €} = -103529 \quad \text{€}$$

$$3 \text{ vuosi} \quad (-103529 \text{ €}) + 64877 \text{ €} = -38652 \quad \text{€}$$

$$4 \text{ vuosi} \quad (-38652 \text{ €}) + 64877 \text{ €} = 26225 \quad \text{€}$$

Yhden turbiinin koroton takaisinmaksuaika on noin 3 vuotta 6 kuukautta.

Ilman TE-keskuksen investointitukea takaisinmaksu aika on noin 4 vuotta 6 kuukautta

TE-keskuksen investointituen osuus: 15 %

Investoinnin osuus kahdella turbiinilla, tuki huomioon ottaen: 424902 €

Vuotuisten menojen määrä, keskimäärin vuodessa kahdella turbiinilla: 4596 €

Kahden turbiinin koroton takaisinmaksuaika:

1 vuosi	$(-499885 \text{ €}) + 77969 \text{ €} =$	-421916	€
2 vuosi	$(-421916 \text{ €}) + 77969 \text{ €} =$	-343947	€
3 vuosi	$(-343947 \text{ €}) + 77969 \text{ €} =$	-265978	€
4 vuosi	$(-265978 \text{ €}) + 77969 \text{ €} =$	-188009	€
5 vuosi	$(-188009 \text{ €}) + 77969 \text{ €} =$	-110040	€
6 vuosi	$(-110040 \text{ €}) + 77969 \text{ €} =$	-32071	€
7 vuosi	$(-32071 \text{ €}) + 77969 \text{ €} =$	45898	€

Kahden turbiinin koroton takaisinmaksuaika on noin 5 vuotta 5 kuukautta.

Ilman TE-keskuksen investointitukea takaisinmaksu aika on noin 6 vuotta 3 kuukautta.

Aikajakson pituus on 20 vuotta ja nettonykyarvon laskentakorkona on käytetty 8 %.

Yksi turbiini

Sisäinen korko	Nettonykyarvo
28 %	376 535 €

Lisäturbiini

Sisäinen korko	Nettonykyarvo
Negatiivinen	-118 450,62 €

Lopullisena johtopäätöksenä voidaan todeta, että yhden turbiinin vaihtoehto on taloudellisesti kannattava itsessään, mutta kahden turbiinin vaihtoehdossa lisäturbiini ei ole kannattava. Eli kahden turbiinin vaihtoehto ei ole taloudellisesti kannattava.

VIITELUETTELO

- [1] Production Hut. Energiaa Suomessa > Energiaa Pohjois-Suomessa > Energian tuotantotavat > Vesivoima [verkkodokumentti]. 2000 [viitattu 20.03.2006].
Saataavissa: <http://www.energiaasuomessa.net>
- [2] Kara, Mikko ym. *Energia Suomessa Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset*. Helsinki: Edita. 2004.
- [3] Production Hut. Energiaa Suomessa > Energiaa Pohjois-Suomessa > Energian tuotantotavat > Vesivoima > Vesivoimalan periaatepiirros (2000) > Vesivoimala (pdf) [verkkodokumentti]. 2000 [viitattu 22.03.2006].
Saataavissa: <http://www.energiaasuomessa.net>
- [4] Perttula, Jarmo, *Energiatekniikka*. Porvoo: WSOY. 2000.
- [5] Motiva. Motiva > Kirjasto > Uusiutuvat energialähteet Suomessa > vesivoima [verkkodokumentti]. 16.04.2004 [viitattu 22.03.2006].
Saataavissa: <http://www.motiva.fi/fi/kirjasto/uusiutuvatenergialahteetsuomessa/vesivoima/>
- [6] Motiva. Motiva > Kirjasto > Uusiutuvat energialähteet Suomessa > Uusiutuvan energian käyttö Suomessa ja EU:ssa > Monipuolisuus suomen vahvuus [verkkodokumentti]. 09.02.2006 [viitattu 22.03.2006].
Saataavissa:
http://www.motiva.fi/fi/kirjasto/uusiutuvatenergialahteetsuomessa/uusiutuvanenergiankayt_tosuomijaeu/monipuolisuussuomenvahvuus.html
- [7] Wikipedia, Vapaa tietosanakirja. Wikipedia > (etsi) turbiini [verkkodokumentti]. 09.03.2006 [viitattu 28.03.2006].
Saataavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Turbiini>
- [8] British Hydropower Association. British Hydro > mini-hydro > 8.0 Technology [verkkodokumentti]. 2004 [viitattu 10.04.2006].

Saatavissa: <http://www.british-hydro.org/mini-hydro/infopage.asp?infoid=362>

- [9] Amuseum. Amuseum > Physik > Alles was zerkleinert, Ausstellung 2001 > Eine kurze Geschichte des Zerkleinerns > Wasserrad [verkkodokumentti]. 05.02.2006 [viitattu 12.04.2006].

Saatavissa:

<http://www.amuseum.de/physik/alwaze/alwazeHIST/unterobermittelschlaechtig.jpg>

- [10] Chalmers University of Technology. Numerical investigations of turbulent flow in water turbines > Francisfoto [verkkodokumentti]. 14.01.2005 [viitattu 13.04.2006].

Saatavissa: <http://www.tfd.chalmers.se/~hani/phdproject/proright.html>

- [11] Chalmers University of Technology. Numerical investigations of turbulent flow in water turbines > Kaplanfoto [verkkodokumentti]. 14.01.2005 [viitattu 13.04.2006].

Saatavissa: <http://www.tfd.chalmers.se/~hani/phdproject/proright.html>

- [12] Waterpumps WP Oy. Ympäristöystävällistä pienvesivoimaa-esite.

- [13] Waterpumps WP Oy. CAD-piirustus.

- [14] Määttänen, Martti ym. *Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, Vesivoimalaitokset. Julkaisu 45 -78*. Helsinki: Insinööritieto Oy. 1981.

- [15] Alstom. Alstom > Search (bulb) > bulbe_a.PDF [verkkodokumentti]. 2000 [viitattu 16.04.2006].

Saatavissa: http://www.power.alstom.com/_eLibrary/presentation/upload_43381.pdf

- [16] Pöyry. Pöyry > Hydropower > pu_en_rehabilitation_80_y.pdf [verkkodokumentti]. [viitattu 18.04.2006].

Saatavissa: http://www.ewe.ch/linked/en/hydropower/pu_en_rehabilitation_80_y.pdf

- [17] Anderson New Technology High School. Dam & Turbine Types [verkkodokumentti]. 2004 [viitattu 20.04.2006].
Saataavissa: <http://www.anths.org/port/2004/ewiant/DandT.html>
- [18] U.S Department of Energy. U.S Department of Energy > Your house > Electricity > Making clean electricity > Microhydropower systems > How a Microhydropower System Works > turbine or waterwheel [verkkodokumentti]. 12.12.2005 [viitattu 22.04.2006].
Saataavissa: http://www.eere.energy.gov/consumer/your_home/electricity/index.cfm/mytopic=11120
- [19] Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Wikipedia (Saksa) > (suche) pelton turbine [verkkodokumentti]. 12.03.2006 [viitattu 22.04.2006].
Saataavissa: http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:S_vs_pelton_schnitt_1_zoom.png
- [20] Microhydro. Microhydro [verkkodokumentti]. 2002 [viitattu 23.04.2006].
Saataavissa: <http://www.energyalternatives.ca/amazing/HydroCourse/turbines.htm>
- [21] Mecaflux. Mecaflux > Turbines [verkkodokumentti]. 21.03.2006 [viitattu 23.04.2006].
Saataavissa: <http://www.mecaflux.com/turbines.htm>
- [22] Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Google > Search (UE_2.pdf) > π ω π ω [verkkodokumentti]. [viitattu 25.04.2006].
Saataavissa: http://www2.et.lut.fi/lvt/uusiutuva_energia/UE_2.pdf
- [23] Wikipedia, The Free Encyclopedia. Wikipedia (Engl) > (search) water turbine [verkkodokumentti]. 13.12.2004 [viitattu 25.04.2006].
Saataavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Water_Turbine_Specific_Speed_Comparison.png

- [24] British Hydropower Association. British Hydro > mini-hydro > 8.0 Technology [verkkodokumentti]. 2004 [viitattu 25.04.2006].

Saatavissa: <http://www.british-hydro.org/minihydro/infopage.asp?infoid=362>

- [25] Verband der personalvertretungen der schweizerischen elektrizitätswirtschaft. Verband der personalvertretungen der schweizerischen elektrizitätswirtschaft > Wassercraft > Wasserturbine > Einsatzbereiche der Turbinen [verkkodokumentti]. [viitattu 28.04.2006].

Saatavissa: http://www.vpe.ch/wasser/wasser_einsatz.htm

- [26] Karahnjukar Hydropower Project. Karahnjukar Hydropower Project > The Project > 2005 NEWS June-January [verkkodokumentti]. 18.02.2005 [viitattu 05.05.2006].

Saatavissa: <http://www.karahnjukar.is/EN/article.asp?catID=402&ArtId=1069>

- [27] Sivola Sami, Vanhojen pienvesivoimalaitosten uudelleenkäyttö teknistaloudelliselta ja ympäristöimagolliselta kannalta. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. Espoo. 2005.

- [28] Martin Roth's Home Page. Martin Roth's Home Page > Research: > image repository > phdthesis > Appendix C [verkkodokumentti]. 2006 [viitattu 10.05.2006].

Saatavissa: <http://martin.nobilitas.com/turbo/images/phdthesis/cavitation2.jpg>

- [29] Energiamarkkinavirasto. Energiamarkkinavirasto > Julkaisut ja raportit [verkkodokumentti]. 15.06.2004 [viitattu 15.05.2006].

Saatavissa:

http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/JohannaHaverinen_20040615_2.pdf

- [30] Tilastokeskus. Tilastokeskus > Tuotteet ja palvelut > Teemasivut > Kasvihuonekaasuinventaarior > Polttoaineluokitus ja päästökertoimet/Bränsleklassificering och utläppskoefficient 2006 (Fuel classification) > Microsoft Excel - khkaasut_polttoaineluokitus.xls [verkkodokumentti]. 2006 [viitattu 15.05.2006].

Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html

- [31] Kauppa- ja teollisuusministeriö. Kauppa- ja teollisuusministeriö > Energia > Selvityksiä ja raportteja > Kriteerityöryhmän mietintö (pdf) (631.4 KB (3/2004) [verkkodokumentti]. 31.03.2004 [viitattu 20.05.2006].
- Saatavissa: http://www.ktm.fi/files/13629/kriteerityOryhmAn_mietintO.pdf
- [32] Helsingin Energia. Helsingin Energia > Sähkö > Kotitaloudet > Ympäristöpennisähkö [verkkodokumentti]. 2002 [viitattu 25.05.2006].
- Saatavissa: <http://www2.helsinginenergia.fi/sahko/ymparistopennisahko.asp>
- [33] Helsingin energia. Helsingin energia > Tuotanto > Voimalaitokset > Voimalaitosten toiminta [verkkodokumentti]. 20.12.2005 [viitattu 01.06.2006].
- Saatavissa: http://www.helsinginenergia.fi/tuotanto/vuosaari_toiminta.html
- [34] Vuosaaren voimalaitoksen dokumenttiarkisto. 2006
- [35] Kauppa- ja teollisuusministeriö. Kauppa- ja teollisuusministeriö > Energia > Energiarahoitus > Energiatuki [verkkodokumentti]. 18.11.2005 [viitattu 05.06.2006].
- Saatavissa: <http://www.ktm.fi/index.phtml?s=190>
- [36] Kauppa- ja teollisuusministeriö. Kauppa- ja teollisuusministeriö > Energia > Energiarahoitus > Energiatuen hakeminen [verkkodokumentti]. 22.03.2006 [viitattu 07.06.2006].
- Saatavissa: <http://www.ktm.fi/index.phtml?s=191>
- [37] Kauppa- ja teollisuusministeriö. Kauppa- ja teollisuusministeriö > Energia > Energiarahoitus > Energiatuen hakemuslomakkeet > Energiatukihakemus investointiin (pdf) [verkkodokumentti]. 23.03.2006 [viitattu 10.06.2006].
- Saatavissa: <http://www.ktm.fi/index.phtml?s=192>
- [38] Tiisanen, Pekka, Energiavuosi 2005 poikkeuksellinen sähkövuosi, Sähköala 6-7 (2006), s. 30.

[39] Nordpool. Nordpool > Nordpool > Financial market [verkkodokumentti]. 11.06.2006 [viitattu 11.06.2006].

Saatavissa: <http://www.nordpool.no/nordpool/financial/index.html>

[40] Nordpool. Nordpool > Spot market > Elspot market data > Monthly prices > EUR [verkkodokumentti]. 11.06.2006 [viitattu 11.06.2006].

Saatavissa: <http://www.nordpool.no/nordpool/financial/index.html>

[41] Kauppa- ja teollisuusministeriö. Kauppa- ja teollisuusministeriö > Energia > Energiaverot> Verotuet [verkkodokumentti]. 23.03.2006 [viitattu 13.06.2006].

Saatavissa: <http://www.ktm.fi/index.phtml?s=195n>

LIITTEET

- LIITE 1. CO₂-päästöt
- LIITE 2. Helsingin Energian ympäristöpennissäkö
- LIITE 3. **3D-rakennuspiirustukset**
(vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)
- LIITE 4. **2 D-rakennuspiirustukset**
(vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)
- LIITE 5. Valokuva turbiinin/turbiinien sijoitus kohdasta
- LIITE 6. **Vuosaaren B-voimalaitoksen sähköpääkaavio**
(vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)
- LIITE 7. **Työvoima- ja elinkeinokeskuksen tukihakemus**
(vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)
- LIITE 8. Kauppa- ja teollisuusministeriön ehtoja tuen myöntämiseen
- LIITE 9. Nordpool-sähkön hintoja
- LIITE 10. **Kustannuslaskelma**
(vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)
- LIITE 11. **Vuosaaren merivesipumppujen vuotuisia käyttömääriä**
(vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)
- LIITE 12. Waterpumps WP Oy:n laitteiston huolto-ohjeet
- LIITE 13. **Waterpumps WP Oy:n Huolto hinnasto**
(vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)

LIITE 14. Waterpumps WP Oy:n tarjous

(vain työn tilaajan käyttöön, ei sisälly kirjalliseen raporttiin)

Päästöjen laskenta

- **Hiilidioksidipäästöjen laskentakaava**
 $\text{CO}_2\text{-päästöt} = \text{toimintotiedot} * \text{päästökerroin} * \text{hapettumiskerroin}$
- **Polton päästöille**
 $\text{CO}_2\text{-päästöt} = \text{polttoaineen kulutus [TJ]} * \text{päästökerroin [tCO}_2\text{/TJ]}$
 $* \text{hapettumiskerroin},$
 $\text{polttoaineen kulutus} = \text{käytetty polttoaine} * \text{tehollinen lämpöarvo}$
- **Prosessipäästöille**
 $\text{CO}_2\text{-päästöt} = \text{toimintotiedot [t tai m}^3\text{]} * \text{päästökerroin}$
 $[\text{tCO}_2 / \text{t tai m}^3] * \text{muuntokerroin},$
 $\text{toimintotiedot} = \text{materiaalin kulutus, suorituskyky tai tuotannon}$
 määrä

Laskukaavat päästöjen laskemiseen [29,s.6].

Polttoaine	CO ₂ oletus- päästökerroin [t / TJ] = [g CO ₂ / MJ]	Hapettumiskerroin
Maakaasu	55,0	1
Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus ≥ 1%	78,8	0,99
Kivihiili, bituminen	94,6	0,98
Palaturve	102,0 [31, s.16].	0,99 [30]

Sähköntuotannon hyötysuhteet ovat noin arvoja, koska arvot ovat hyvin laitoskohtaisia.

Maakaasu sähköntuotannon hyötysuhde 0,485	Palaturve sähköntuotannon hyötysuhde 0,35
Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus ≥ 1% sähköntuotannon hyötysuhde 0,4	Kivihiili, bituminen sähköntuotannon hyötysuhde 0,3

LIITE 1 2
(2)

Vuodessa vesivoimalla tuotettu päästötön energia määrä:

1 turbiini	1965,8 MWh / vuodessa
2 turbiinia	2358,9 MWh / vuodessa

Samalla energian tuotanto määrällä aiheutuvat CO₂ päästöt vuodessa, jos energia olisi tuotettu alla luetelluilla polttoaineilla.

Maakaasulla laskettu esimerkki, yhden turbiinin vaihtoehdolla:

$$(1966 \text{ MWh} / \text{vuosi} \times 1000) / 0,485 = 4053608 \text{ kWh} / \text{vuosi}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$4053608 \text{ kWh} / \text{vuosi} \times 3,6 = 14592990 \text{ MJ} / \text{vuosi}$$

$$(\text{tuotannon määrä} \times \text{päästökerroin} \times \text{hapettumiskerroin} = \text{CO}_2\text{-päästöt})$$

$$14592990 \text{ MJ} / \text{vuosi} \times 55 \text{ g CO}_2 / \text{MJ} \times 0,95 = 762483711 \text{ g CO}_2 / \text{vuosi}$$

$$762483711 \text{ g CO}_2 / \text{vuosi} / 1000 / 1000 = 762 \text{ tonnia CO}_2 / \text{vuosi}$$

Maakaasu	
1 turbiini	762 t CO ₂ / vuosi
2 turbiinia	915 t CO ₂ / vuosi

Kivihiili, bituminen	
1 turbiini	2187 t CO ₂ / vuosi
2 turbiini	2624 t CO ₂ / vuosi

Raskas polttoöljy, rikkipitoisuus ≥ 1%	
1 turbiini	1381 t CO ₂ / vuosi
2 turbiinia	1656 t CO ₂ / vuosi

Palaturve	
1 turbiini	2042 t CO ₂ / vuosi
2 turbiini	2450 t CO ₂ / vuosi



YMPÄRISTÖPENNISÄHKÖ - PUHTAAN YMPÄRISTÖN PUOLESTA

[Ympäristöpennissähkön tilaus](#)

Nyt Sinulla on tilaisuus päästä itse vaikuttamaan uusiutuvien energiantuotantomuotojen käytön lisääntymiseen: hanki Ympäristöpennissäähköä. Näin saat vuosittain käyttöösi 1 000 kWh tuulivoimalla tai "museovesivoimalla" tuotettua sähköä, oman valintasi mukaan. Saamasi sähkö on kuitenkin aivan samanlaista - yhtä turvallista, jakelultaan luotettavaa ja varmaa kuin Helsingin Energian muukin sähkö.

Asiakasmäärä ja ympäristöpennitilin tilanne

Tällä hetkellä [ympäristöpennissähköasiakkaita](#) on yhteensä 3474. Tuulivoiman on valinnut 2937 ja museovesivoiman 537 asiakasta. [Ympäristöpennissähkötilin saldo](#) 31.5.2006 oli 436085,08 €.

Puhdas tuotanto - uusiutuva energia

Ympäristöpennissäähkö on puhtaasti tuotettua energiaa, jota ostamalla tuet ympäristönsuojelua. Ympäristöpennissäähkö yhdistää kaksi ideaa: puhtaasti tuotetun sähkön ja ympäristöystävällisen tuotannon lisärakentamisen.

Tuotto edistää ympäristönsuojelua

Ympäristöpennissäähkö maksaa 1,68 €/kk enemmän kuin "normaalisähkö". Maksu veloitetaan perusmaksuna sähkölaskusi yhteydessä. Helsingin Energia maksaa jokaista asiakasta kohden 3,36 €/kk ympäristöpennitilille, jolle kertyvät varat ohjataan kokonaisuudessaan ympäristöä parantaviin hankkeisiin.

Valitse itse: museovesi- tai tuulivoima

Helsingin Energian Ympäristöpennissäähköä tuotetaan kahdella tavalla: Helsingin Vanhankaupunginkosken museovesivoimalassa ja Meri-Porin sekä Raahen Hyötytuulipuistoissa. Voit itse valita, tahdotko vesi- vai tuulivoimalla tuotettua sähköä. Museovesivoimalasta riittää sähköä 500 asiakkaalle ja tuulivoimalla tuotettua sähköä on varattu 5 600 asiakkaalle. Tällä hetkellä Museovesivoimalla tuotettua Ympäristöpennissäähköä ei tarjota uusille asiakkaille. Museovesivoima-asiakkaiden lukumäärää seurataan ja jossain vaiheessa tuotetta aletaan taas tarjota.

Vanhankaupunginkosken museovesivoimalan kuukausittaisia sähköntuotantolukuja voit seurata [tästä](#). Yksi MWh vastaa yhden Museovesivoima-asiakkaan vuotuista Ympäristöpennissähköosuutta.

Puhtaat pelisäännöt

- Asiakas maksaa 1,68 €/kk normaalisähköä enemmän.

LIITE 2 2 (2)

- Helsingin Energia maksaa ympäristöpennitille 3,36 €/kk jokaista ympäristöpennisähköasiakasta kohti.
- Tilille kertyy siis 3,36 € asiakasta kohti joka kuukausi.
- Kaikki ympäristöpennitille kertyneet varat käytetään ympäristön hyväksi. Varojen käyttöä ohjaa ja valvoo riippumaton asiantuntijaryhmä.
- Ympäristöpennisähköä on varattu 1 000 kWh asiakasta kohti vuodessa. Jos kulutuksesi on tätä suurempi, loppuosa käyttämästäsi sähköstä on Helsingin Energian "normaalisähköä".
- Ympäristöpennitille kertyvät varat suunnataan:
 - tuulivoiman, aurinkoenergian ja bioenergian kehittämiseen entistä tehokkaammiksi energiantuotantomuodoiksi
 - erilaisiin toimenpiteisiin hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi
 - muihin vastaavanlaisiin ympäristöä parantaviin hankkeisiin.
- Jokainen asiakas voi tehdä myös omia ehdotuksiaan kertyvien varojen käyttökohteiksi.
- Ympäristöpennitilin varojen käyttöä ja hankkeiden toteutumista valvovaan asiantuntijaryhmään kuuluu edustajia seuraavista yhteisöistä:
 - Energiateollisuus ry
 - Helsingin Kauppakorkeakoulu
 - Helsingin kaupungin ympäristökeskus
 - MOTIVA
 - Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV
 - Suomen WWF
 - Teknillinen korkeakoulu, Otaniemi
- Varojen käyttö tarkastutetaan vuosittain tilintarkastajilla.
- Helsingin Energia tiedottaa Ympäristöpennisähkön varojen kertymisestä ja käytöstä mm. asiakaslehdessään.

LIITE 8 1 (3)

Energiatuen hakeminen ja maksaminen

Energiatuen enimmäisprosentit

Energiatuen osuus hyväksyttävistä kustannuksista voi olla enintään:

- 40 % energiakatselmuksissa, energia-analyyseissä ja muissa selvityshankkeissa
- 40 % tuulivoiman tai aurinkoenergian investointihankkeissa
- 40 % uusiutuvan energian tai energiansäästön investointihankkeissa, jotka perustuvat uuteen energiatekniikkaan
- 30 % muissa uusiutuvan energian tai energiansäästön investointihankkeissa
- 30 % energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja vähentävissä investointihankkeissa
- 25 % energiahuollon varmuutta ja monipuolisuutta edistävissä investointihankkeissa.

Kunnat, kuntayhtymät ja maakuntien liitot voivat saada 10 % korotuksen energiakatselmusten, energia-analysien ja muiden selvityshankkeiden tukeen silloin, kun hanke liittyy kunnan tehtävien hoitoon.

Tuettavat hankkeet

Tukea voidaan myöntää investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka:

- lisäävät bioenergian, kuten puun, käyttöä (lämpökeskukset ja voimalaitokset)
- lisäävät kotimaisten polttoaineiden tuotantoa ja jalostusta (hakkurit, pelletit, kierrätyspolttoaineet, biokaasut)
- edistävät energiansäästöä tai energian tuotannon tai käytön tehostamista
- edistävät muun uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä (aurinko, tuuli, pienvesivoima, maalämpö)
- vähentävät energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja
- muutoin edistävät energiahuollon varmuutta ja monipuolisuutta.

Etusija annetaan uuden teknologian kaupallistamista edistäville hankkeille.

Hyväksyttävät kustannukset

Investointihankkeen hyväksyttäviä kustannuksia ovat:

- investoinnin suunnittelusta aiheutuvat kustannukset
- rakennusten, koneiden ja laitteiden hankinnasta ja asennuksesta sekä niiden muutos- ja korjaustöistä aiheutuvat kustannukset

LIITE 8 2 (3)

- välittömästi investointiin liittyvien maa-alueiden hankinnasta ja sähköjohtojen rakentamisesta aiheutuvat kustannukset (maa-alueiden hankinnasta aiheutuvat kustannukset voivat olla enintään 10 % hankkeen hyväksyttävistä kokonaiskustannuksista)
- kaukolämpöverkkoon liittämistä aiheutuvan putken rakentamisesta koituvat kustannukset
- rakennusteknisistä töistä ja rakennustöiden valvonnasta aiheutuvat kustannukset
- raivaus- ja maanrakennusteknisistä töistä aiheutuvat kustannukset
- käyttöönnotosta ja käyttöönoton edellyttämästä käyttöhenkilökunnan koulutuksesta aiheutuvat kustannukset
- hankkeen tiedottamisesta aiheutuvat kustannukset
- investoinnin seurannasta aiheutuvat kustannukset.

Hyväksyttäviä kustannuksia eivät ole mm. tuen saajan yleiskustannukset, edustusmenot, rakennusaikaiset korot, liittymismaksut sekä arvonnäisäverotuksessa vähennettävät tai palautuksena saatavat verot.

Selvityshankkeen hyväksyttäviä kustannuksia ovat:

- hankkeen suorittamiseen osallistuneiden henkilöiden palkat ja niihin liittyvät välilliset työvoimakustannukset
- laite-, tarvike- ja ohjelmistokustannukset
- hankkeen matka- ja tiedotuskustannukset
- muut hankkeen aiheuttamat välittömät kustannukset
- yleiskustannukset.

Hakemisen ajankohta

Energiatukea on haettava ennen hankkeen aloittamista.

Tukea investointihankkeeseen on haettava ennen käyttöömaisuuden hankkimista tai tuella rahoitettavan rakentamis-, muutos- tai parannustyön aloittamista. Aloittamisella tarkoitetaan lopullisen investointipäätöksen tekemistä.

Tukea selvityshankkeeseen on haettava ennen selvityshankkeen aloittamista.

Hakemuksen sisältö

Hakemus tehdään lomakkeella, jota saa työvoima- ja elinkeinokeskuksista tai kauppa- ja teollisuusministeriöstä.

LIITE 8 3 (3)

Hakemuksessa on esitettävä:

- hakijan virallinen nimi, osoitetiedot ja yhteisötunnus
- hankkeen tavoite, toteuttamissuunnitelma ja –aikataulu
- arvio hankkeen energiataloudellisista vaikutuksista sekä hankkeen päästöistä, erityisesti kasvihuonekaasujen päästöistä
- arvio hankkeen kannattavuudesta
- uutta teknologiaa edustavissa hankkeissa selvitys teknologian uutuusarvosta sekä arvio hankkeen vaikutuksista teknologian kaupallistamisen ja käyttöönoton edistämiseen
- arvio työllisyysvaikutuksista
- hankkeen kustannusarvio, rahoitussuunnitelma ja tiedot mahdollisista leasing-sopimuksista
- kaupparekisteriote
- viimeisimmän tilikauden toimintakertomus, tuloslaskelma ja tase tilintarkastajan lausuntoineen
- selvitys haetuista ja myönnettyistä muista julkisista tuista mukaan lukien Euroopan unionin myöntämät tuet kyseiseen hankkeeseen.

Hakemuksen käsittelyminen

Hakemus toimitetaan aina työvoima- ja elinkeinokeskukseen (TE-keskus).

Oikea TE-keskus on se, jonka toiminta-alueella investointi- tai selvityshanke toteutetaan. Mikäli hanke toimitetaan usealla paikkakunnalla, hakemus jätetään siihen TE-keskukseen, jonka toiminta-alueella hakijan kotipaikka sijaitsee.

Tiettyjen hankkeiden kohdalla TE-keskus toimittaa hakemuksen käsiteltäväksi kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosastolle.

Tuen maksaminen

Maksatukset hoitaa tukipäätöksen tehnyt viranomainen (KTM tai TE-keskus). Tuki maksetaan jälkikäteen asiakkaan tekemien tilitysten perusteella hankkeen edistymisen ja maksettujen kustannusten mukaan tukipäätöksessä mainituissa erissä.

Viimeinen maksatuserä on vähintään 20 % myönnetystä tuesta.

Hakemus viimeisen tukierän maksamiseksi eli lopputilitys tulee toimittaa tuen myöntäjälle viimeistään kolmen kuukauden kuluessa siitä, kun hanke on toteutettu. Lopputilitys tehdään KTM:n vahvistamalla lomakkeella.

LIITE 9 1 (4)

Exchange quotation and trading of Futures and Forward

Tulevaisuuden hinta arvioita:

Tuote	Product	Sulkeutumis hinta	Closing price	Matalimmin kaupattu	Lowest traded	Korkeimmin kaupattu	Highest traded	MW / kaupattu	MW traded	Vaihtaminen loppunut	Change close	Viimeiseksi kaupattu	Last traded	Paras myyjä	Best seller	Paras ostaja	Best buyer	Tunnit	Hours	Valuutta	Currency
Forwards																					
Month																					
ENOMJUN-06	EUR	720	42.70	43.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOMJUL-06	EUR	744	41.60	42.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOMAUG-06	EUR	744	44.50	44.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOMSEP-06	EUR	720	44.70	45.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOMOCT-06	EUR	745	44.60	46.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOMNOV-06	EUR	720	45.50	48.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quarter																					
ENOQ3-06	EUR	2208	44.00	44.05	44.00	0.20	92.0	44.70	44.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOQ4-06	EUR	2209	47.15	47.45	47.50	0.35	3.0	47.55	47.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOQ1-07	EUR	2159	49.25	49.40	49.45	0.65	4.0	49.50	49.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOQ2-07	EUR	2184	38.50	39.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOQ3-07	EUR	2208	35.55	35.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOQ4-07	EUR	2209	41.25	42.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOQ1-08	EUR	2183	46.00	47.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOQ2-08	EUR	2184	36.75	38.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOQ3-08	EUR	2208	36.00	37.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOQ4-08	EUR	2209	43.50	45.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Year																					
ENOYR-07	EUR	8760	41.15	41.30	41.25	0.25	52.0	42.00	41.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOYR-08	EUR	8784	40.65	41.00	40.90	0.15	37.0	41.25	40.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ENOYR-09	EUR	8760	41.40	41.75	41.90	0.25	16.0	42.40	41.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Keskiarvo hintoja viime vuosilta, myydyn sähkön hinnoista.

LIITE 9 2 (4)

Vuosi	€
2003	35,3
2004	27,7
2005	30,5
2006	45,6

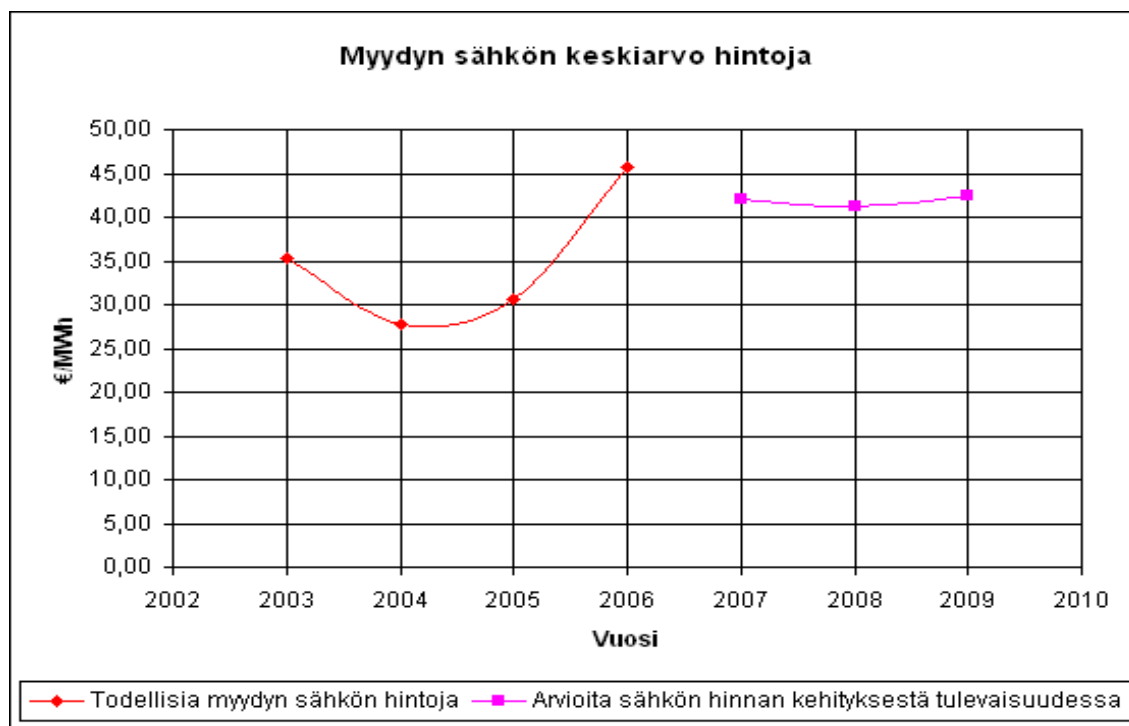
KA 34,8

Vuoden 2006 myydyn sähkön hinta on taulukon teko hetkellä suhteettoman korkea, koska arviosta puuttuu myydyn sähkön hinta kesä-ajalta, milloin sähkön hinta on kulutuksen vähentymisen johdosta paljon pienempi, kuin talvella milloin kulutus on Suomen kylmien sääolosuhteiden vuoksi suurempi ja sähkön hinta tästä johtuen korkeampi.

Vuodesta 2006 eteenpäin hinnat ovat arvioita jotka on otettu Tulevaisuuden hinta-arvioita taulukosta, mistä on laskettu halvimman myynti hinnan ja kalleimman myynti hinnan keskiarvoja vuosittain.

Vuosi	€
2007	42
2008	41,3
2009	42,4

KA 41,9



LIITE 9 3 (4)

Keskiarvo hintoja viime vuosilta, myydyn sähkön hinnoista:

Elspot monthly prices

Average price in EUR/MWh

2006							
Month	Oslo	Sweden	Finland	DK-West	DK-East	Kontek	System
January	38,88	40,04	43,09	41,73	49,42	62,41	40,32
February	42,67	43,49	47,75	47,01	50,53	68,52	43,37
March	52,23	52,34	53,24	47,66	59,52	61,94	52,39
April	53,63	49,14	49,14	45,24	48,89	44,13	51,73
May	39,93	35,26	35,17	36,22	35,33	33,42	37,62
June							
July							
August							
September							
October							
November							
December							
The year	45,47	44,03	45,61	43,49	48,70	53,86	45,08

2005							
Month	Oslo	Sweden	Finland	DK-West	DK-East	Kontek	System
January	22,91	23,17	23,19	22,33	23,66		23,01
February	24,57	25,41	25,59	26,08	26,75		25,11
March	28,75	30,85	30,76	31,22	38,16		29,46
April	30,69	30,89	30,89	34,50	30,93		30,72
May	30,53	31,35	30,64	36,13	31,73		30,90
June	26,11	26,79	26,74	44,17	28,78		26,27
July	28,66	29,09	29,99	42,52	29,10		28,84
August	30,82	31,20	35,07	38,30	31,79		31,01
September	29,43	29,50	29,97	44,98	31,93		29,37
October	32,22	32,28	33,86	42,70	36,75	48,42	32,14
November	30,25	30,88	32,07	42,40	52,00	71,13	30,50
December	34,13	35,29	37,00	40,89	43,63	57,40	34,26
The year	29,13	29,76	30,53	37,23	33,80	59,32	29,33



LIITE 9 4 (4)

2004						
Month	Oslo	Sweden	Finland	DK-West	DK-East	System
January	29,22	28,80	28,53	26,53	29,29	29,03
February	27,67	27,33	27,03	26,01	27,65	27,50
March	29,81	28,56	27,28	27,92	28,58	29,19
April	29,94	26,54	25,81	27,35	26,49	28,76
May	28,13	27,08	26,74	29,31	27,09	27,89
June	32,28	31,76	31,10	32,76	32,23	32,02
July	29,89	25,94	25,93	30,07	26,13	28,15
August	32,86	32,52	31,67	33,99	33,59	32,64
September	29,22	28,40	28,08	30,72	28,40	28,96
October	27,90	26,37	26,37	27,09	26,37	27,75
November	29,59	28,17	28,13	28,28	28,18	29,20
December	26,26	25,54	25,48	25,53	26,24	25,96
The year	29,40	28,08	27,68	28,80	28,35	28,92

2003						
Month	Oslo	Sweden	Finland	DK-West	DK-East	System
January	72,89	70,31	69,84	47,17	70,24	71,68
February	48,46	48,17	47,01	44,31	48,74	48,25
March	40,52	38,50	37,57	34,80	38,49	39,51
April	32,74	30,10	29,61	27,52	30,10	31,53
May	29,71	29,46	28,06	28,50	29,46	29,51
June	24,01	26,67	26,16	26,75	26,67	24,81
July	27,50	28,16	28,14	32,92	28,82	27,65
August	33,24	33,31	31,25	35,89	34,61	33,01
September	32,46	32,75	29,93	34,60	32,75	32,31
October	35,09	35,76	33,70	33,47	36,88	35,12
November	36,77	35,69	33,87	32,13	36,18	36,26
December	32,35	29,42	28,93	26,70	29,13	31,07
The year	37,11	36,49	35,30	33,68	36,80	36,69

LIITE 12.1 (2)

LAITTEISTON HUOLTO

KUUKAUSITTAIN TEHTÄVÄ TARKASTUS

Kuukausittain tarkastetaan öljymäärät sekä paineistuslaitteistossa että hydraulikkakoneikossa. Samoin tarkastetaan paineistusjärjestelmän paine. Koko laitteistolle tehdään silmämääräinen tarkastus sekä kuunnellaan koneiden käyntiääni. Sähkökeskuksen merkkilamput testataan ja palaneet lamput vaihdetaan uusiin.

VUOTUINEN HUOLTO

Ennen huoltotoimenpiteitä sammuta kone, katkaise sähkökennosta jännite ja lukitse katkaisija auki – asentoon!

Pinnanmittaus

Nosta pinnanmittausanturi ylös mittakaivosta ja huuhtelee anturi puhtaalla vedellä. Anturia ei saa pestä suihkuttamalla tai puhdistaa paineilmalla.

Turbiini-generaattori

Suorita puhallutus generaattorin tilan tyhjentämiseksi mahdollisesta kondenssivedestä ja vuotoöljystä. Tarkasta ja tarvittaessa säädä paineistusjärjestelmän paine.

Avaa turbiinin miesluukut ja tarkasta johtosiipien ja juoksupyörän kunto.

LIITE 12.2 (2)

KAHDEN JA VIIDEN VUODEN VÄLEIN SUORITETTAVAT HUOLLOT

Ennen huoltotoimenpiteitä sammuta kone, katkaise sähkökennosta jännite ja lukitse katkaisija auki – asentoon!

Laakeriöljyn vaihto

Turpiinin laakeriöljy vaihdetaan kahden vuoden välein. Samalla tarkastetaan öljyputkiston ja sen liitosten kunto.

Hydrauliikkakoneikko

Hydrauliikkakoneikon öljy ja suodatin vaihdetaan viiden vuoden välein.

KYMMENEN VUODEN VÄLEIN SUORITETTAVA HUOLTO

Kymmenen vuoden välein laitteistolle on tehtävä laajempi huolto jolloin turpiini-generaattori on irrotettava laakereiden ja akselitiivisteiden vaihtoa varten. Huollon ollessa ajankohtainen ota yhteys valmistajaan tarkempien ohjeiden saamiseksi.